



*II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010*

Estudio de defectos en resortes a ballesta

Miguel Ángel Zago

*Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de
Avellaneda*

*San Vicente 206 esq. Av. Ramón Franco, Av. Ramón Franco 5050 (1870) Villa Dominico, Avellaneda,
Provincia de Buenos Aires, Argentina*

Tel/Fax: 54 011 42523169 mzago@fra.utn.edu.ar zagomiguel@yahoo.com.ar

RESUMEN

Los resortes a ballesta para la suspensión de vehículos automotores para transporte de pasajeros y de cargas, habitualmente conocidos como elásticos, son elementos solicitados fundamentalmente a fatiga por esfuerzos flectores cíclicos. En su elaboración se utilizan planchuelas de diversos aceros para construcciones mecánicas. El proceso de fabricación de las hojas, unidad que forma al conjunto, se realiza en dos etapas: el eventual forjado de sus extremos y el tratamiento térmico de temple y revenido para obtener las características mecánicas necesarias.

Durante una extensa evaluación de la calidad de las hojas componentes de las ballestas se observaron defectos reiterados provenientes de la materia prima y los tratamientos térmicos. Asimismo, se estudiaron las instalaciones para erradicar las fuentes vinculadas con los defectos encontrados, particularmente, el horno de tratamiento térmico, la batea de enfriamiento, el circuito de refrigeración del aceite de temple, el sistema de control de temperatura y el esquema de control del aceite de temple.

En el presente trabajo se muestran los defectos detectados, se describen sus influencias en la fractura y en la formación de grietas por fatiga y se detallan las mejoras introducidas en el proceso de fabricación.

Palabras Claves: acero, resorte, fatiga, temple y revenido, grafitización.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros habitualmente usados para la fabricación de resortes a ballesta, y en muchos casos especificados por las terminales automotrices, son los IRAM 9260 (SAE 9260) e IRAM 5160 (SAE 5160). La norma IRAM – IAS – U 500 – 600 [1] brinda la composición química de estas aleaciones. El primero es un acero aleado al silicio – manganeso con un contenido medio de carbono, mientras que el segundo es un acero al cromo con idéntica cantidad de carbono.

El ciclo de elaboración de las hojas, componentes de las ballestas, implica exponerlas a altas temperaturas durante tres períodos: laminación en caliente de las planchuelas, conformación plástica en caliente de las hojas y tratamiento térmico. Durante estas etapas suelen aparecer defectos típicos de descarburación, grafitización de la cementita, grietas, puntos y estructuras blandas, todos ellos responsables, en distinto grado, de las fallas posteriores por fatiga. Por otro lado, los aceros utilizados poseen inclusiones no metálicas provenientes del proceso de elaboración que también son parcialmente responsables de las fracturas por fatiga.

Para el estudio se utilizaron trece muestras de hojas de ballestas nuevas, de distintos espesores y en diversas condiciones de tratamiento térmico producidos por una firma local del mercado de reposición y de terminales automotrices. La Tabla 1 describe los atributos de las muestras. El periodo de evaluación duró tres años, entre 2006 y 2008.

Tabla 1: atributos de las hojas analizadas.

Hoja N°	Acero IRAM / SAE	Medidas (ancho por espesor) (mm)	Tratamiento térmico
01	5160	75 x 12	Normalizado
			Templado
			Templado y revenido
02	5160	75 x 12	Templado
03	5160	75 x 12	Templado
04	5160	101 x 15,8	Templado
07	5160	75 x 12	Templado
08Z	9260	75 x 12	Templado y revenido
08A	9260	75 x 12	Templado y revenido
09	9260	13 x 80	Templado
10	9260	75 x 12	Templado y revenido
11	9260	8 x 70	Templado y revenido
19	5160	7 x 50	Templado y revenido

Tabla 1: atributos de las hojas analizadas (continuación).

Hoja N°	Acero IRAM / SAE	Medidas (mm)	Tratamiento térmico
20a	5160	12,5 x 75	Templado desde 780°C y revenido
20b	5160	12,5 x 75	Templado desde 830°C y revenido
21a	5160	6 x 50	Templado y revenido
21b	5160	10 x 50	Templado y revenido
22am	9260	12 x 75	Templado y revenido
22bl	9260	12 x 75	Templado y revenido

El método utilizado para el análisis fue el metalográfico. Se extrajeron probetas mediante cortes longitudinales coincidentes con la dirección de la laminación de los aceros y se las observó en los estados de pulido especular sin atacar y atacadas con Nital 5. Las muestras se identificaron con números según la rastreabilidad original. El desarrollo del trabajo se organizó estudiando los defectos descritos.

2. DESARROLLO

2.1. Descarburación

La falla por descarburación fue detectada en las hojas 01 templada y templada y revenida, 02; 03; 07; 10; 20; 21 y 22. La profundidad descarburada alcanza, en algunas muestras, hasta 0,45 mm. En la Figura 1 se puede observar una superficie descarburada correspondiente a la hoja de acero 21a.

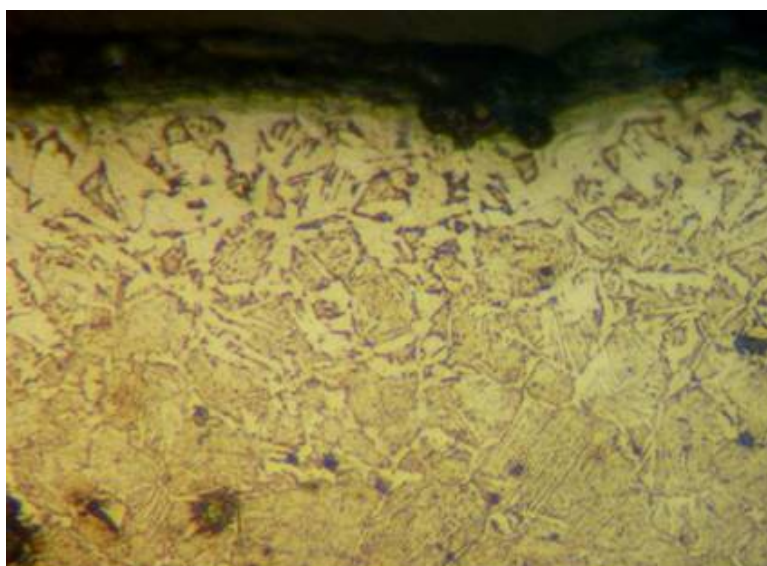


Figura 1: superficie descarburada hasta 0,146 mm de profundidad X391.

En la Tabla 2 se describe el perfil de microdureza de la hoja 02. Se puede observar la notable pérdida de dureza de la periferia descarburada muy frecuentemente responsable de las fracturas por fatiga que acontecen en las ballestas [2] [3].

Tabla 2: perfil de microdureza Vickers con carga de 500 g.

Distancia al borde (mm)	MHV ₅₀₀	Equivalencia HRC
0,10	276	26,6
0,25	371	37,9
0,50	479	47,6
1,00	526	50,9
2,25	552	52,5
3,65	552	52,5
centro	479	47,6

2.2. Grafitización de la cementita

Las muestras extraídas de las hojas números 01 templada y templada y revenida, 03; 04; 07; 08 Z y A; 09; 10; 11 y 22am y bl presentan diversos grados de grafitización de la cementita. La Figura 2 muestra un nódulo principal de gran tamaño y algunos aledaños menores rodeados por un entorno ferrítico y este, a su vez, dentro de una matriz de martensita revenida.

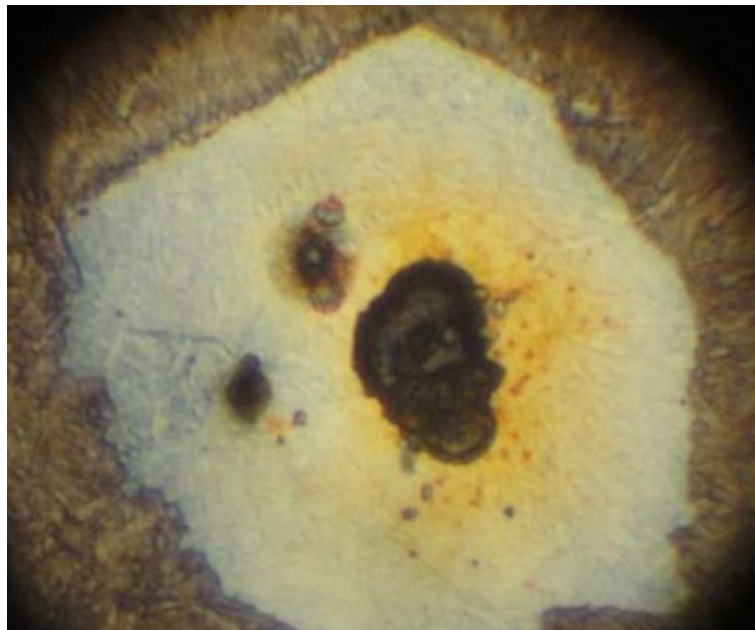


Figura 2: nódulos de grafito formados a partir de la grafitización de la cementita X625.

2.3. Grietas

Las hojas 08Z y 08A contienen grietas superficiales transgranulares e intergranulares. Las Figuras 3; 4 y 5 permiten observarlas.

Las grietas se producen, generalmente, durante el tratamiento térmico de las hojas y en algunos casos como producto de la conformación plástica en caliente de los ojales de las hojas maestras. Cuando aparecen son las principales responsables de las fallas por fatiga de las ballestas [4].

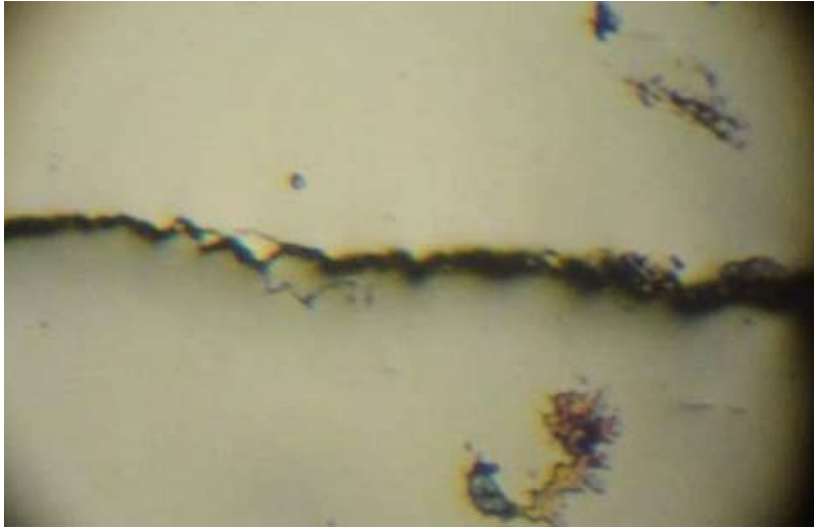


Figura 3: grieta preponderantemente transgranular desde la periferia (derecha) hacia el núcleo, metalografía sin atacar X156.



Figura 4: grietas preponderantemente intergranulares, matriz de martensita revenida, metalografía con ataque X391.

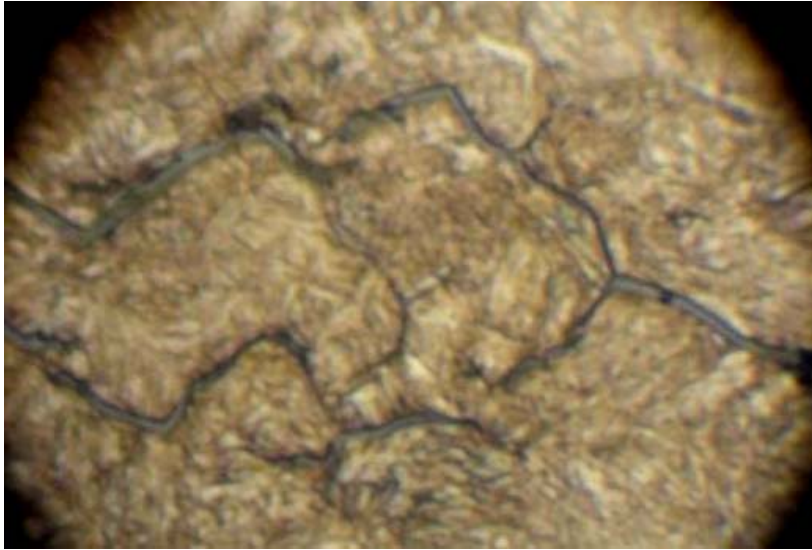


Figura 5: detalle de la Figura 4 X625.

2.4. Puntos y estructuras blandas

Los puntos blandos detectados están vinculados con la presencia de ferrita libre en matrices martensíticas. Se originaron por la insuficiente temperatura de austenización completa requerida para el temple. Las hojas 22am y 22bl presentan este tipo de falla tal como se puede ver en la Figura 6.

La presencia de estructuras ferríticas en las hojas de las ballestas proporciona zonas propicias para el inicio de fractura por fatiga [5] [6].

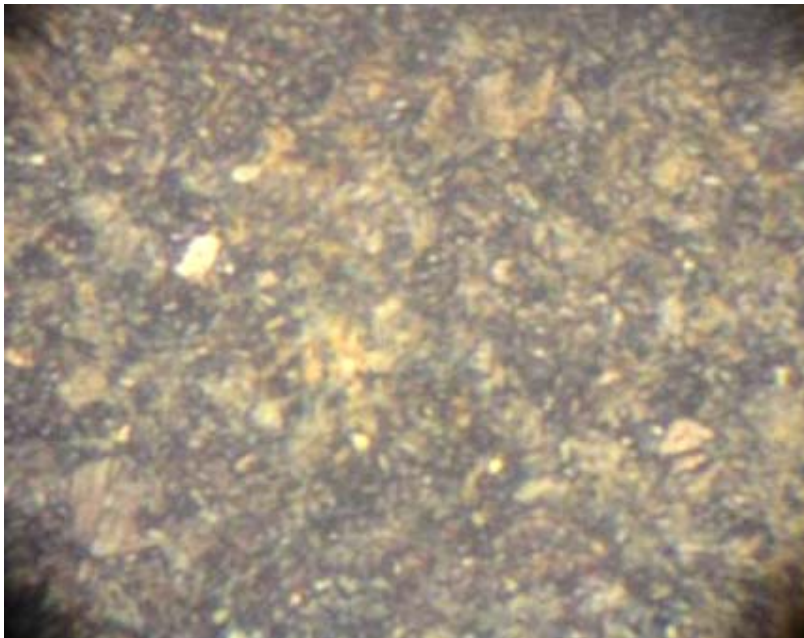


Figura 6: granos claros de ferrita en una matriz martensítica X156.

2.5. Inclusiones no metálicas

Durante la elaboración de los aceros precipitan impurezas de carácter químico. Óxidos, sulfuros y silicatos son heterogeneidades denominadas inclusiones no metálicas; su presencia en aleaciones destinadas a soportar sollicitaciones de fatiga limita la vida útil de los elementos y los predisponen a su fractura prematura [7].

La Tabla 3 describe la clasificación según la norma IRAM – IAS – U 500 – 126 [8] del tamaño (serie fina y gruesa) y densidad ó campo de inclusiones no metálicas encontradas en las hojas 01; 02 y 22bl.

Tabla 3: inclusiones no metálicas.

Hoja	Sulfuro de manganeso		Óxidos globulares		Alúmina		Silicatos	
	Serie	Densidad	Serie	Densidad	Serie	Densidad	Serie	Densidad
01	fina	1	gruesa	2	gruesa	2	gruesa	2
02	gruesa	1	gruesa	1	---	---	---	---
22bl	gruesa	2	---	---	---	---	---	---

3. DISCUSIÓN

Se encontraron otros defectos vinculados al proceso. Particularmente, el tratamiento térmico provocó crecimiento del tamaño de grano y diferencias estructurales entre el centro de las hojas y los extremos de las mismas. Excepto el elevado contenido de inclusiones no metálicas, los defectos descritos son frecuentes en esta industria y otras similares.

Las inclusiones no metálicas de la materia prima se presentaron, principalmente, en partidas carentes de certificación de calidad de las acerías.

Los defectos encontrados reducen notablemente la resistencia a la fatiga y la resiliencia (resistencia al impacto), sollicitaciones principales a las cuales se hallan sometidas las ballestas.

4. CONCLUSIONES

A partir del estudio de los defectos encontrados se elaboraron estrategias y recomendaciones correctivas.

Para evitar la descarburación difusiva de los aceros se colocaron sellos sobre el ingreso y el egreso de las hojas al horno de tratamiento térmico atenuándose así el exceso de oxígeno. Con idéntico objetivo se dotó al horno de un dispositivo para incrementar la cantidad de carbono en su atmósfera y controlar la diferencia de concentración respecto de los aceros tratados.

Se implementó un control más eficiente de la temperatura con la instalación de termocuplas en nuevos puntos de medición y del tiempo de permanencia de las hojas dentro del horno. De esta manera se evita la grafitización de la cementita y la presencia de puntos blandos por transformaciones incompletas.

La batea de enfriamiento fue modificada mediante la instalación de intercambiadores de calor más eficientes. Se implementó una reducción en la periodicidad del control de aditivos del aceite de temple y de su curva de enfriamiento.

5. REFERENCIAS

- [1] Norma IRAM – IAS – U500 – 600, *Aceros para construcciones mecánicas*, 1998.
- [2] Li-qiao An, De-yi Liu, Shi-cheng Liu, Yu-bao Liu, Effect of Practical Decarburized Depth on Fatigue Property of 60Si2CrVAT Spring Steel, *Journal of Dalian Jiaotong University*, Dalian, Liaoning, China, 2009.
- [3] ASM, *Metals Handbook of Case Histories in Failure Analysis*, Vol. 1 y 2, ASM Publications, Ohio, 2002.
- [4] C. K. Clarke, G. E. Borowski, Evaluation of a Leaf Spring Failure, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 5, p. 54 y s. s., 2005.
- [5] J. J. Fuentes, H. J. Aguilar, J. A. Rodríguez, E. J. Herrera, Fractura Prematura de Ballestas de Vehículos Automóviles, *Anales de la Mecánica de Fractura*, Vol.2, p. 557 y s. s., 2007, Venezuela.
- [6] ASM Metals Handbook, *Fatigue and Fracture*, Vol. 19, ASM Publications, Ohio, 2002.
- [7] S. Kumar, V. Kumar, R. K. Nandi, T. S. Suresh, R. Datta, Investigation into Surface Defects Arising in Hot-Rolled SUP 11A Grade Spring Billets, *Journal of Failure Analysis and Prevention*, Vol. 8, p. 492 y s.s., 2008.
- [8] Norma IRAM – IAS – U500 – 126, *Productos de Aceros, Inclusiones No Metálicas*, 1996.

Agradecimientos

El autor agradece a las siguientes personas e instituciones por el apoyo brindado: MDP; autoridades de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Avellaneda e integrantes del Laboratorio de Metalografía y Tratamientos Térmicos de esa Facultad.