

## **Análisis de falla sobre roles para cuerdas metálicas**

Failure Analysis on Metallic Thread Rolls

Steven Geovanny **García-Hernández**<sup>1</sup>, Norberto **Mendoza-Saucedo**<sup>2</sup>  
Beatriz **Muñoz-González**<sup>3</sup>, Marco Antonio **Doñu-Ruiz**<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica del Valle de México, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0003-4507-6722> | [stevngarch@hotmail.com](mailto:stevngarch@hotmail.com)

<sup>2</sup>Universidad Politécnica del Valle de México, MÉXICO

[ing.norberto.mendoza@hotmail.com](mailto:ing.norberto.mendoza@hotmail.com)

<sup>3</sup>Instituto Politécnico Nacional, MÉXICO

[beatriz\\_mugo@hotmail.com](mailto:beatriz_mugo@hotmail.com)

<sup>4</sup>Universidad Politécnica del Valle de México, MÉXICO

<https://orcid.org/0000-0002-3411-7990> | [marco.donu@upvm.edu.mx](mailto:marco.donu@upvm.edu.mx)

Recibido 20-09-2020, aceptado 30-11-2020.

### **Resumen**

Se realizó un análisis de falla usando técnicas de caracterización sobre elemento mecánico llamado Rol; diseñado para realizar cuerdas internas a flechas, el material del elemento mecánico es un acero AISI M5. Se utilizó el análisis visual de la pieza, líquidos penetrantes, dureza HRC, microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido, con el fin de determinar la causa de su falla en servicio. El estudio demuestra que el fallo ocurrió por fatiga mecánica. En la zona cercana a la periferia del rol, presenta unas zonas con carburos irregulares en la matriz con dureza irregular y presencia de cambios microestructurales. El rol presenta una grieta en la periferia de la pieza, esto conlleva posteriormente al colapso y fractura del rol. Con técnicas de caracterización se determinan, los diversos factores que ocasionaron la fractura, los resultados de los estudios metalúrgicos y concluyendo que el tratamiento térmico no fue el óptimo

**Palabras clave:** carburos, microestructura, elementos de aleación, fractura.

### **Abstract**

A failure analysis using characterization techniques on a mechanical element called Rol was done; designed to make internal ropes with arrows, the material of the mechanical element is an AISI M5 steel. Visual analysis of the part, penetrating liquids, HRC hardness, optical microscopy and scanning electron microscopy to determine the cause of its failure in service. The study shows that failure occurred due to mechanical fatigue. In the area around the periphery of the role, there are areas with irregular carbides in the matrix with irregular hardness and presence of microstructural changes. A crack is presented in periphery role; this leads later to the collapse and fracture of the role. With characterization techniques, the diverse factors that caused the fracture are determined, as well as the results of the metallurgical studies, concluding that the thermal treatment is not optimal.

**Index terms:** carbides, microstructure, alloy elements, fracture.

## I. INTRODUCCIÓN

La manufactura es una rama muy importante en la industria mundial, asimismo muchos materiales son utilizados como elementos de máquinas para manufacturar telas, envases, ductos, piezas automotrices, piezas aeronáuticas, piezas para el campo, contenedores para almacenamiento de energía renovable por mencionar algunas ramas de la ingeniería [1], [2]. Por otro lado, estos elementos son materiales que tienen tratamientos térmicos convencionales y tratamientos de superficie para aumentar su vida útil en servicio como herramientas de corte (maquinado), cizallas, troqueles, roles de cuerda, forja, embutido por mencionar algunos [3], [4]. Los materiales que son utilizados para realizar procesos de manufactura primarios y secundarios están sometidos a elevados esfuerzos, a carga por impacto, torsión, flexión, tensión, por ello se requiere que tengan propiedades mecánicas óptimas para su servicio, retardando su falla en uso [5], [6].

Otro de las situaciones que afecta a los elementos mecánicos que trabajan para obtener un producto terminado, son la sensibilidad a los defectos microestructurales por tratamientos térmicos y termoquímicos inadecuados, que conllevan a la disminución de la producción en la industria manufacturera [7], [8].

Otros de los fundamentos claves en la fractura de los elementos mecánicos son la selección de los materiales para cierta aplicación ingenieril y los métodos de manufactura. Por ello, el análisis de falla o la mecánica forense busca determinar las posibles fallas que puedan desencadenar la fractura del componente ingenieril. El estudio del análisis de fallas es de gran valor técnico y científico, dado que estos manifiestan conocimiento sobre los motivos de fallo, que al momento de estudiarse a fondo pueden ser reducidas en ocurrencia o hasta llegar a ser eliminadas totalmente, de tal forma este trabajo tiene el objetivo de establecer las causas de la falla de esta pieza ingenieril utilizada para realizar cuerdas en ejes; mediante técnicas de caracterización microestructural y análisis fractográfico de la fractura del rol con el fin de determinar la causa probable de falla.

## II. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se realizó inicialmente la inspección visual del rol, así como recabar información sobre lo ocurrido en el momento de la falla. La falla del rol se estudió utilizando las siguientes técnicas: a) Inspección visual con líquidos penetrantes, b) Fractografía, mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), usando un equipo marca JSM 6360 LV, c) Metalografía, mediante microscopía óptica usando un microscopio marca Olympus GX 51 y MEB, d) Análisis químico, empleando espectroscopia de energías dispersivas de rayos X (EDS), e) Ensayo mecánico de dureza, utilizando un durómetro universal marca Mitutoyo.

## III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### A. Inspección visual

El rol para cuerdas metálicas en este estudio presenta un agrietamiento en la superficie exterior del mismo el crecimiento de estas grietas como se muestra en la Fig. 1(a). Por otra parte, se realizaron la inspección por líquidos penetrantes como se observa en la Fig. 1(b), con la finalidad de obtener la longitud de la grieta que nace del exterior y colapso en su vida útil. Como describe en su estudio Ebara *et al.* la importancia de identificar las zonas de grietas en este tipo de trabajos [7].

3

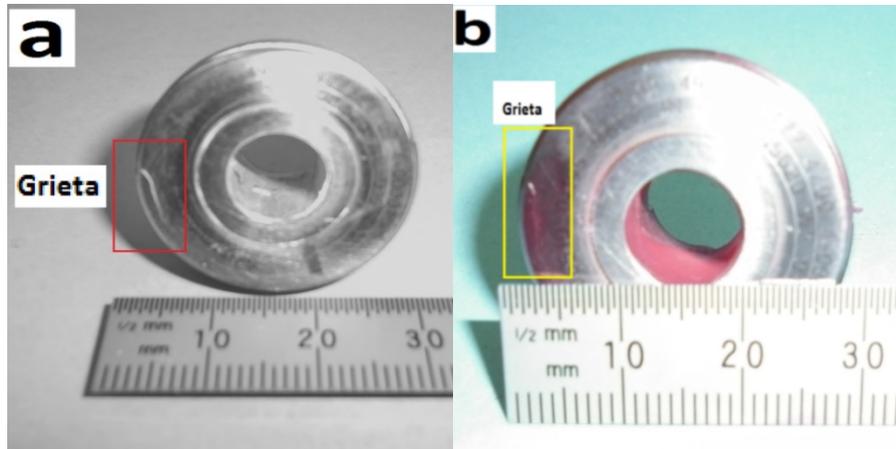


Fig. 1. (a) Grieta localizada en el exterior del rol; (b) Grieta revelada con líquidos penetrantes.

### B. Dureza y fractografía

En la Fig. 2 se presentan diferentes zonas (a-1), (a-2), (b-1) y (b-2), de estudio y medición de la dureza. Pelcastre *et al.* en su estudio muestra que se deben realizar mediciones de dureza con el fin obtener información necesaria para un estudio más a detalle de deterioro del componente ingenieril [8]; por ello se obtuvieron mediciones de dureza de cada zona mostrando un cambio en las zonas de estudio. Además, en la Fig. 3 se muestran las micrografías de las fracturas; observando zonas con carburos irregulares en la matriz, además indica una fractura frágil, esto se debió a que se generaron grandes tensiones, por el cambio de dureza que hay en cada zona.

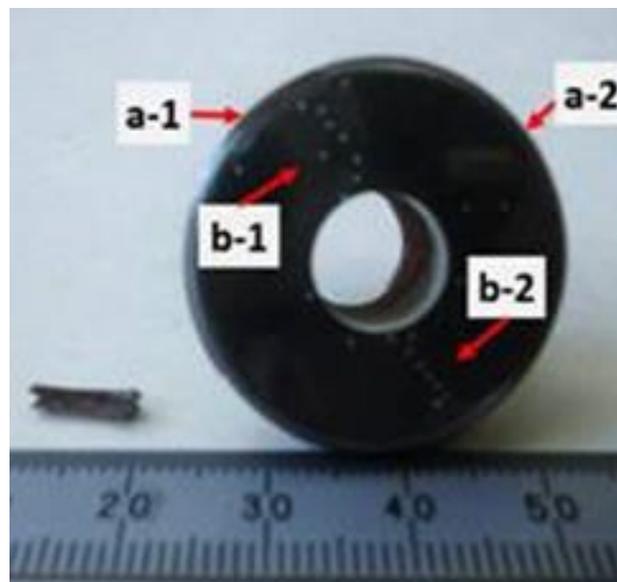


Fig. 2. Zonas de estudio y ensayos de dureza.

4

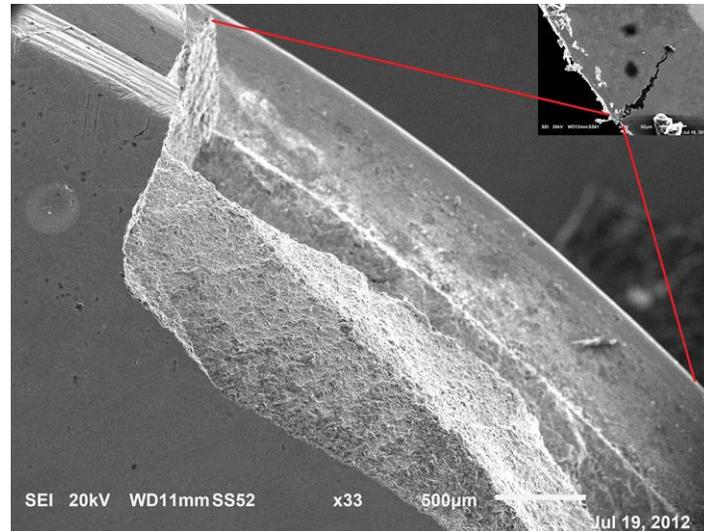


Fig. 3. Fractura en el área de inicio de la grieta zona (a-1).

En la Tabla 1 se muestra la medición de la dureza obtenida encada una de las zonas del rol; mostrando un cambio significativo el cual repercute en la vida útil del componente.

TABLA 1  
PROMEDIO DE DUREZA EN ZONAS, ESCALA HRC.

Material	Zona	Dureza promedio
AISI M5	a1	64±2.03
AISI M5	a2	60± 2.48
AISI M5	b1	63.± 1.78
AISI M5	b2	55 1.18

### C. Microestructura y micrografías

Zhua *et al.* [9] y Baggerly *et al.* [10] describen en sus trabajos que la presencia de cambios microestructurales afecta las propiedades de los materiales; por ende, se realizó el análisis metalográfico de rol para cuerdas metálicas en el sitio de la zona cercana a la fractura. Además, posteriormente en una distancia donde no se encontraba ninguna grieta o fisura del rol. En la Fig. 4 muestra las zonas de grietas y falla del rol. La Fig. 5 muestra los grupos de carburos distribuidos en una dirección perpendicular a la dirección de crecimiento de la grieta, sin embargo se encontró formación de descarburación en la zona de fractura. Por otro lado, la microestructura está constituida por carburos primarios aleados alineados (color blanco), en una matriz de martensita revenida con carburos secundarios. Por otra parte, en la zona sin falla no se encuentra este tipo de cambio microestructural y la presencia de descarburación.

5

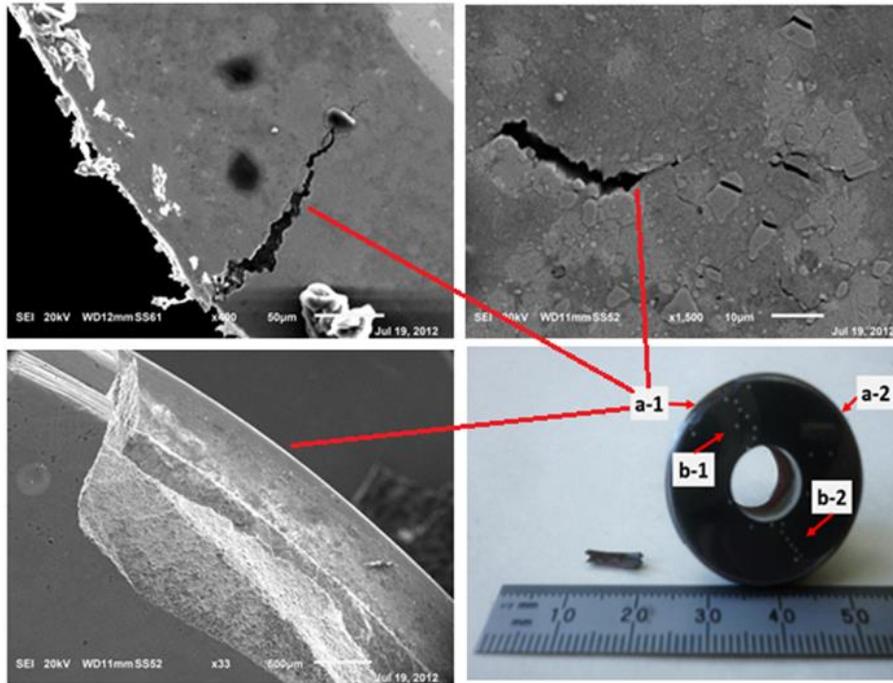


Fig. 4. Micrografías de la zona (a-1) de la superficie de fractura y grietas.

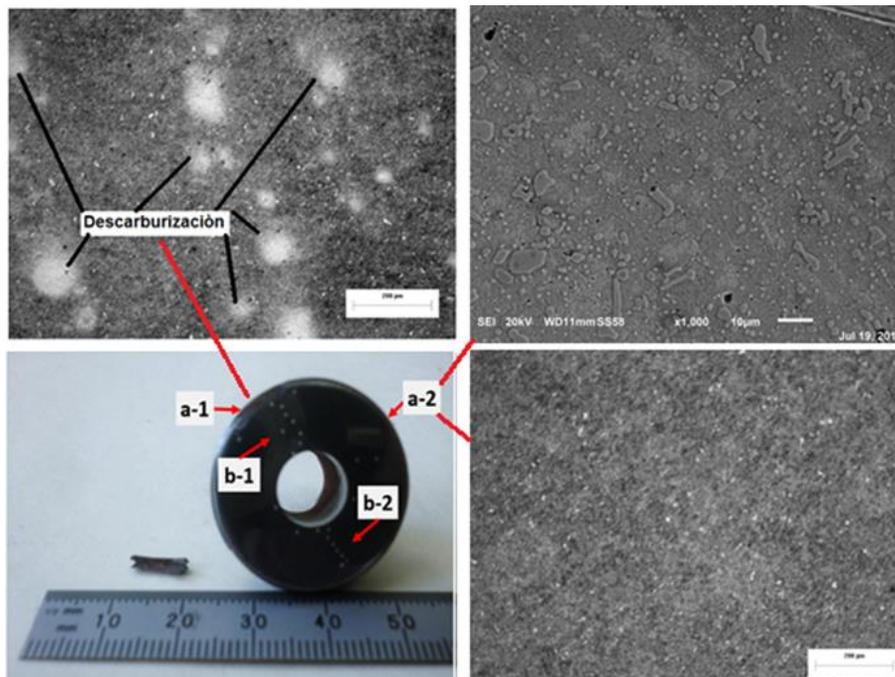
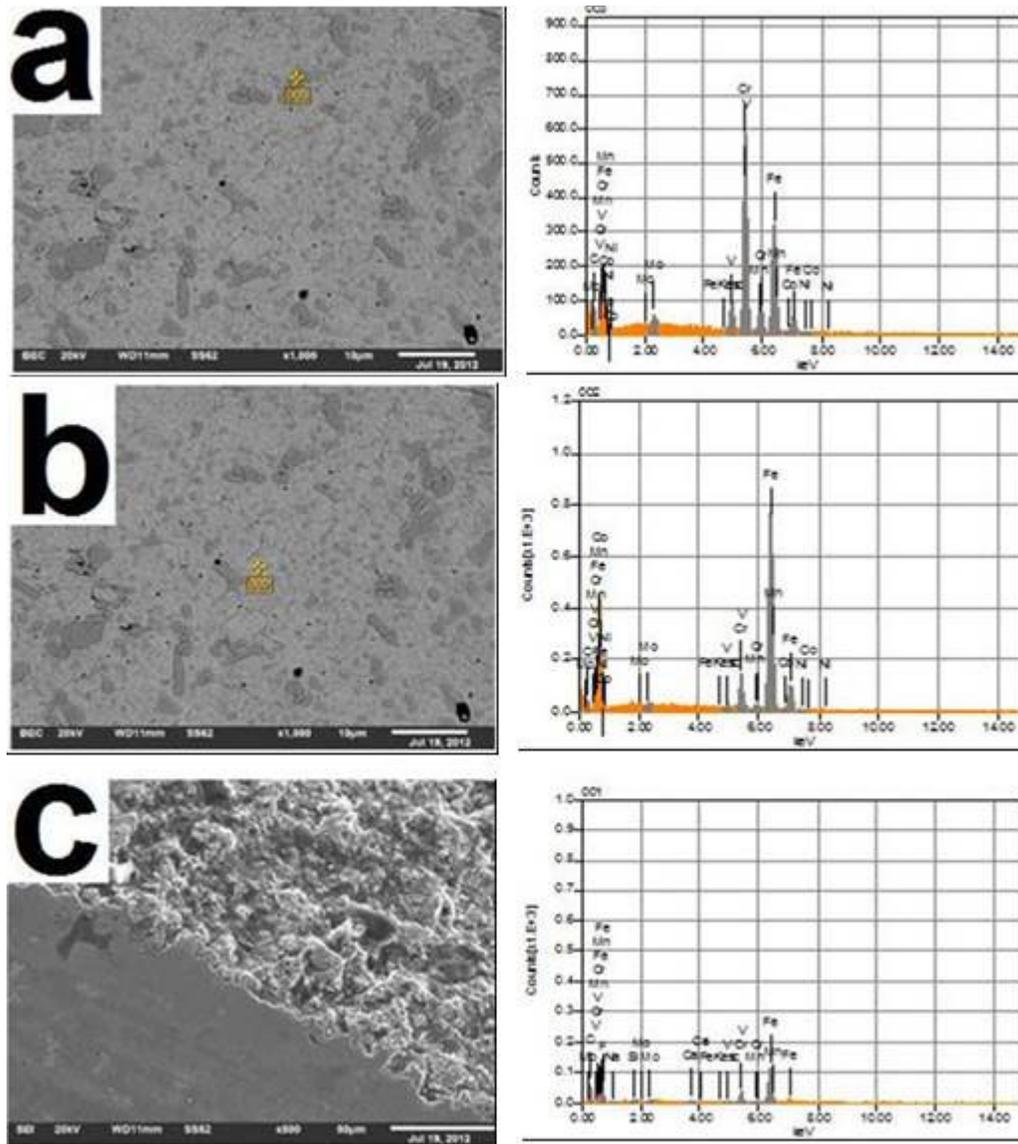


Fig. 5. Micrografía en la zona (a-1) y las micrografías en la zona sin grietas y fractura zona (a-2).

## D. Energía dispersa de espectrometría

En la Fig. 6 se muestran el análisis de las diferentes zonas del espécimen; donde se revela los diferentes elementos de aleación del material de estudio, asimismo en la Tabla 2 se determinan los elementos acumulados en cada área del material de estudio.

6



**Fig. 6.** Energía Dispersa de Espectrometría (EDS) de la zona puntual de carburo (a), zona donde no hay carburos (b), zona donde se generó la falla (c).

TABLA 2  
COMPOSICIÓN QUÍMICA GENERADA MEDIANTE EDS EN LAS DIFERENTES ÁREAS DE ESTUDIO.

Muestra	Composición Química en ms%								
	Fe	Cr	C	Mo	Mn	F	Si	Ni	V
a	45.18	8.59	43.06	1.74	0.06	0.22	0.26	-	0.39
b	79.14	7.72	9.86	0.5	1.33	-	-	0.82	0.5
c	38.13	40.26	14.19	2.3	0.11	-	-	0.11	4.76

7

Los resultados obtenidos indican, la distribución de elementos en la cada área de estudios y detectar los elementos de cada componente químico. Evidenciando que hay un incremento de concentración de elementos en la zona de falla, esta muestra el inadecuado tratamiento térmico al rol.

#### IV. CONCLUSIONES

Los procedimientos y protocolos generales para llevar a cabo investigaciones de análisis de fallas se han documentado en muchos libros, manuales y artículos. Se discuten las razones y las características que pueden estar presentes en las superficies de fractura, además de hacer recomendaciones para prevenir la falla.

El fallo prematuro de la vida útil de rol de cuerdas metálicas se produjo por el tipo de estructura, ya que de las microestructuras que se obtuvieron en la sección de fractura se tiene una presencia de decarburación en especial de esta área como se determina en las micrografías de tal forma la dureza tiene un cambio drástico por el tipo de fases que son diferentes en la zona de falla.

El objeto final de un análisis de falla es la determinación de las causas de rotura del componente en servicio y la manera de evitarla en el futuro, sea mediante un nuevo diseño de la pieza o tratamiento térmico óptimo. En este estudio de falla se intenta resumir brevemente la contribución de la fractografía electrónica a este problema general donde nos muestra el tipo de fractura por el tratamiento térmico del componente ingenieril. La formación de carburos su orientación y morfología constituyen concentradores de esfuerzos que pueden inducir la generación y crecimiento de grietas, los cuales identificamos con la técnica de barrido, además pueden generar la falla en un corto periodo de tiempo de servicio.

El análisis por los diferentes estudios del caso relacionado con falla del rol reveló que la falla podría ser el resultado de anomalías presentes y de factores que pueden ocasionar este tipo de falla por los cambios microestructurales. También la combinación de factores como la lubricación, cargas, fricción, que pueden afectar este tipo de materiales y llevarlos a disminuir su vida útil.

Aplicar el proceso de temple y revenido a temperaturas de transición para el acero AISI M5, con el propósito de aliviar las tensiones iniciales negativas en la superficie de la zona crítica de rol donde se iniciaron las grietas. Las tensiones iniciales negativas permiten reducir las tensiones operativas durante el trabajo de rol.

En este caso se requiere un estricto control de calidad para evitar el origen del defecto y la inspección debe ser muy sólida para restringir el paso de los componentes defectuosos al producto final terminado.

Evitar una decarburación, durante el proceso de fabricación, así como lograr una estructura total de martensita revenida durante el tratamiento térmico.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a PRODEP para el trabajo; como la divulgación mediante el proyecto UPVMEX-CA-4 otorgado.

## REFERENCIAS

- ∞
- [1] American Society for Metals, *Engineering Aspects of Failure and Failure Analysis, Failure Analysis and Prevention*, vol 10, 8th ed., Metals Handbook, 1975.
  - [2] J. J. Asperger, Legal Definition of a Product Failure: What the Law Requires of the Designer and the Manufacturer, *Proc. Failure Prevention through Education: Getting to the Root Cause*, 23–25 May 2000 (Cleveland, OH), ASM International, 2000, p 25–29.
  - [3] N. López-Perrusquia, M. A. Doñu-Ruiz, J. V. Suarez-Cortez, D. Sánchez, F. Vázquez. Characterization of the Fracture of an Automobile Drum, *Bra. MRS Proceedings*, 1372, pp. 3-13, 2012, doi: <https://doi.org/10.1557/opl.2012.112>
  - [4] M. A. Doñu-Ruiz, N. López-Perrusquia, V. J. Cortés-Suárez, S. A. Pérez-Moo, J. C. Vargas-Caballero, “Análisis de un sistema homogenizador de jugo de naranja,” *Científica*, vol. 21, núm. 2, pp. 107-112, julio-diciembre 2017.
  - [5] G. H. Farrahi, H. Ghadbeigi, “An investigation into the effect of various surface treatments on fatigue life of a tool steel,” *Mater Process Technol.*, vol. 174, pp. 318-324, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.01.014>
  - [6] A. Persson, S. Hogmark, J. J. Bergström, “Temperature profiles and conditions for thermal fatigue cracking in brass die casting dies,” *Mater Process Technol.*, vol. 152, pp. 228-36, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.241>
  - [7] R. Ebara, K. Takeda, Y. Ishibashi, A. Ogura, Y. Kondo, S. Hamaya, “Microfractography in failure analysis of cold forging die,” *Eng Fail. Anal.*, vol. 16, pp. 1968-1976, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2008.10.023>
  - [8] L. Pelcastre, J. Hardell, N. Herrera, B. Prakash, “Investigations into the damage mechanisms of form fixture hardening tools,” *Eng Fail Anal.*, vol. 25, pp. 219-226, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.05.014>
  - [9] W. Zhua, S. Cruchley, W. Yina, X. J. Hao, C. L. Davis, A. J. Peyton, “Examining the effects of green supply chain management practices and their mediations on performance improvements,” *NDT&E International*, vol. 46, pp. 63-69, 2012, doi: <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.571937>
  - [10] R. G. Baggerly, R. A. Drollinger, “Determination of decarburization in steel,” *Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 2, pp. 47-50, 1993, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02649673>