



43° SENAFOR

*27th International Forging Conference
26th National Sheet Metal Forming Conference / 13th International Sheet Metal Forming
Conference / 10th BrDDRG Congress
13th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energies –
Brazil/RS
2nd International Conference on Innovation in Materials and Manufacturing
Hotel Plaza São Rafael – P. Alegre RS, October 2-4, 2024*

Análisis de falla de un mandril de extrusión directa de tubos de latón TLE

M Schmidt ^(1,2*) D Martinez Krahmer ^(2,3) D Migliorino ⁽²⁾ G. Abate ^(3,4)

¹ Sector de matricería, Grupo FV-Ferrum, Buenos Aires, Argentina.

² Instituto de Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional de Hurlingham (UNAHUR),
Buenos Aires, Argentina.

³ Centro de Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires,
Argentina.

⁴ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

ABSTRACT

Este estudio presenta un análisis exhaustivo dirigido a identificar las causas de una falla recurrente en mandriles de extrusión utilizados en un sector productivo de la empresa de grifería FV. La resolución de este problema es crucial, dado que el insumo producido, tubos de latón, es fundamental para la fabricación de productos destinados a la comercialización. Se adoptaron tres enfoques principales: a) el análisis del material del herramental, b) la evaluación del proceso de fabricación y c) la revisión de las condiciones de uso. Los resultados obtenidos indicaron que los mandriles defectuosos exhiben durezas superiores a las especificadas por las Normas de fabricación, lo que sugiere una posible inadecuación en el diseño. Además, se identificó que el proceso de fabricación del orificio de refrigeración interno al mandril no garantiza la calidad superficial requerida, lo que condujo a la aparición de concentradores de tensiones. Para finalizar, este estudio refleja una colaboración efectiva entre los sectores productivos, la academia y de investigación.

Keywords: Extrusión, aleaciones de cobre, análisis de falla, concentradores de tensiones

I. INTRODUCCIÓN

Los procesos de extrusión de metales se dividen en procesos de extrusión por impacto en frío [1] y de extrusión en caliente [2]. Este trabajo se refiere a un proceso como el [2].

A finales del año 2023, se detectó una alarmante disminución en la durabilidad de los mandriles de extrusión en caliente (fig. 1) utilizados en la prensa de tubos sin costura de la fábrica de griferías FV. Los mandriles son de acero DIN 1.2367 (aprox. AISI H11). Inicialmente, este problema se resolvió con el uso de un lote remanente de mandriles que no fueron fabricados en la empresa, disponibles en la planta. Sin embargo, surgió la necesidad de investigar en detalle las causas para evaluar la posibilidad de fabricarlos localmente en la matricería de la compañía.

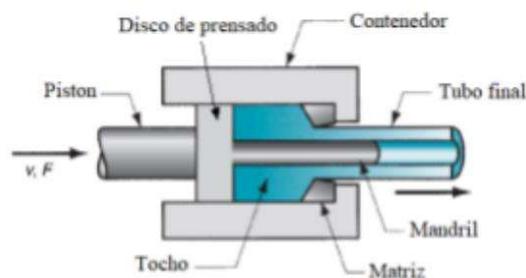


Fig. 1: Esquema básico del proceso

Los últimos lotes de herramientas presentaron fracturas frágiles (ver figura 1 A y figura 1 B), lo que impidió alcanzar la vida útil estimada. Las fracturas ocurrieron en la zona que está en contacto con el material a 800 °C, justo después de la cabeza de presión. La duración óptima esperada para este tipo de herramienta es de 250 prensadas; no obstante, en los casos de fractura frágil presentados, la vida útil se redujo a sólo el 10% de este valor, y en el caso de estricción seguida de rotura (ver figura 1 - S), alcanzó el 80%.

El herramienta en cuestión es crucial para la producción de caños sin costura, los cuales son insumos esenciales para la fabricación de griferías y accesorios. Las fallas observadas han generado demoras y escasez de stock, afectando el abastecimiento normal de materias primas.

El presente estudio tiene como objetivo identificar la causa raíz del problema mencionado, con el fin de extender la vida útil del herramienta, reduciendo así los costos de aprovisionamiento, setup y procesos. Estas actividades contribuirán a disminuir el costo de fabricación del producto, mejorando la competitividad en un mercado cada vez más globalizado. Además, esta investigación destaca la importancia de la colaboración entre los sectores académicos, productivos y de investigación, generando una sinergia crucial para el fortalecimiento de la industria nacional de Argentina.

2 ANÁLISIS DEL CASO

2.1. Inspección macrográfica

El herramienta analizado se emplea para la extrusión directa de latón, utilizando dos aleaciones específicas definidas por la empresa. En la Tabla 1 se detallan las composiciones químicas nominales (% en peso) de las dos aleaciones que se utilizan habitualmente en el proceso.

Tabla 1 – Composición química aleaciones

Aleación	Unidad	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	Hierro (Fe)
C27000	%	63/68.5	Max 0.09	Balance	Max 0.07
C38500		55/59	2.5/3.5	Balance	Max 0.35

Para este estudio, se obtuvieron tres muestras de mandriles en desuso: una de origen alemán (muestra S) y dos fabricadas en el taller de la empresa (muestras A y B) (ver fig. 2). La muestra S presenta una zona de estricción, lo que indica que el mandril experimentó una tracción que superó la tensión última del material, el que se comportó en forma dúctil. Al observar la estricción, se realizó un análisis dimensional, determinando que la pieza sufrió una reducción de sección de aproximadamente un 15 % en la zona indicada.



Fig. 2: Mandriles fracturados

En las muestras A y B, la diferencia de sección entre la zona de la falla y una zona intacta cercana es despreciable, lo que sugiere que la fractura fue frágil, sin evidencia de deformación plástica.

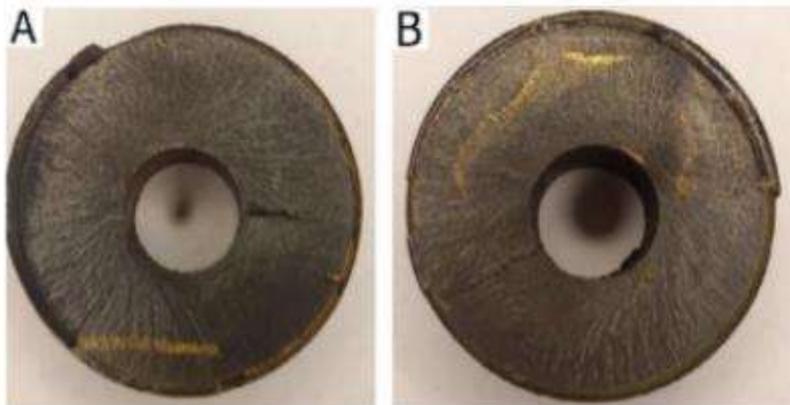


Fig 3: Superficie de fractura (Muestras A y B)

Para iniciar la caracterización de la superficie de fractura, se tomaron imágenes con lupa, observándose una superficie plana y brillante, con marcas de chevron a lo largo de toda la sección de rotura, características indicativas de una fractura frágil (ver fig. 3).

2.2. Formulación de hipótesis

Basado en el análisis preliminar de la falla y las primeras inspecciones visuales, se propusieron las siguientes hipótesis:

1. Problemas relacionados con el material:

- o Material no correspondiente o fuera de Norma.
- o Problemas en el diseño o en la ejecución del tratamiento térmico.

2. Problemas en el proceso de fabricación:

- o Diseño inadecuado del componente.
- o Proceso de fabricación incorrecto.

3. Uso inadecuado del componente:

- o Falta de refrigeración o refrigeración insuficiente.
- o Falla en la alineación.

En función de estas hipótesis, se determinaron los ensayos necesarios para confirmar o descartar las posibles causas de falla planteadas:

Se identificó una diferencia de casi un 10% en las mediciones de dureza obtenidas en las muestras A y B en comparación con la muestra S en la zona cuerpo. Esta variación coloca a las zonas correspondientes por encima de lo especificado en el diseño del componente. Como resultado, la diferencia porcentual de dureza entre las distintas zonas de la pieza aumenta de menos del 10% a casi un 20% en promedio. Este incremento en la dureza conlleva una disminución de la tenacidad en dichas áreas. La dureza diferencial es necesaria para absorber posibles desviaciones que se produzcan durante el proceso de agujereado del tocho previo a la extrusión, y así evitar la rotura del mandril por flexión.

3.2 Proceso de fabricación y diseño

3.2.1 Diseño

El diseño del mandril presenta cambios de sección (ver fig. 4), pero incluye radios de encuentro diseñados con el fin de minimizar posibles concentradores de tensiones que podrían provocar su falla. Además, el plano de fabricación contiene anotaciones que detallan aspectos importantes relacionados con las terminaciones superficiales.

Si bien no especifica una medida de la rugosidad necesaria para este componente, sí indica que las superficies funcionales deben estar libres de rayaduras.

Asimismo, se establece que la superficie exterior del mandril debe poseer una conicidad de 1:1000 (es decir 0.06°). Esta conicidad debe ser verificada para asegurar que es suficiente para reducir los esfuerzos de tracción generados durante el proceso.

El plano también detalla requisitos diferenciales de resistencia a la tracción en distintas zonas del mandril, especificaciones que solo pueden cumplirse mediante un tratamiento térmico diseñado para este fin, que incluye un revenido adicional en la zona de fijación del mandril.

3.2.2 Calidad superficial interior

En el caso del orificio, es más complejo realizar mediciones de rugosidad y verificar el cumplimiento de la especificación del plano, que indica que la superficie no debiera presentar rayas que puedan generar fisuras. Sin embargo, al analizar las superficies de las secciones de fractura (muestras A y B), el seguimiento de las estrías muestra que todas convergen en un punto específico, donde se originó la falla del mandril [3]. Al enfocar la vista en la zona donde confluyen las líneas de fractura, se pueden observar marcas asociadas al proceso de mecanizado del orificio de refrigeración. Se determinó que la fisura que provocó la rotura del mandril se originó en un defecto de fabricación, el cual generó un concentrador de tensiones en esa zona.

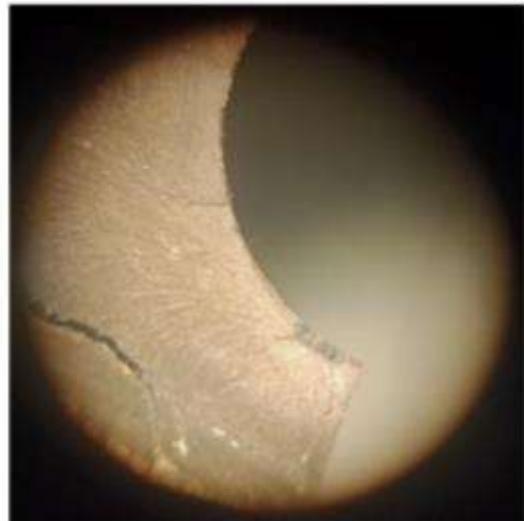


Fig. 5: Macrografía zona de fractura

A partir de este análisis, se puede inferir que la mejora de la calidad superficial podría prevenir la formación de concentradores de tensiones, los cuales parecieran ser

la causa principal de las fracturas en los mandriles.

Además, se verificó que no se está cumpliendo con las especificaciones del plano, que requieren una superficie libre de rayas para el orificio de refrigeración. La presencia de estas rayas ha dado lugar a concentradores de tensiones, contribuyendo a la falla del componente.

3.3 Estado de la máquina y uso del herramental

Se ha observado que la máquina presenta desgastes propios de su antigüedad (1969). En cuanto a las cuestiones mecánicas, se realiza un mantenimiento periódico en el que se reemplazan guías o piezas del mecanismo que muestran signos de desgaste. No obstante, la antigüedad del equipo dificulta la obtención de repuestos nuevos. A pesar de su buen estado general, el equipo requiere ajustes periódicos debido a la variación de temperatura durante los cambios estacionales.

En lo que respecta al sistema de control, compuesto por mecanismos hidráulicos y electrónicos, se constató que está considerablemente desactualizado, lo que limita las opciones de regulación del proceso y provoca paradas prolongadas en caso de desgaste excesivo o fallas en los componentes del circuito. No es posible ajustar la velocidad de avance del material; solo se puede regular la presión del proceso, y no se controla la temperatura del contenedor o del mandril. Aunque la lubricación utilizada ha permanecido sin cambios durante varios años, no es posible determinar su eficacia debido a la falta de parámetros medibles que indiquen si el esfuerzo del equipo aumenta con el tiempo, lo que podría sugerir la necesidad de mejorar la lubricación.

Con relación a los parámetros de utilización del herramental (temperatura, velocidades, lubricación, etc.), no se han producido modificaciones significativas que puedan sugerir que estos sean la causa de la rotura prematura de los mandriles.

4 CONCLUSIONES

Tras este primer análisis del problema, se han identificado varias observaciones claves. En primer lugar, con relación al proceso de fabricación del mandril, se ha constatado que la condición superficial del agujero de refrigeración, resultante del proceso de perforación, presenta concentradores de tensiones que son potencialmente responsables de las fracturas frágiles observadas. Este defecto en la calidad superficial es crítico, ya que los concentradores de tensiones pueden actuar como iniciadores de grietas, reduciendo significativamente la resistencia del componente en condiciones de servicio.

En segundo lugar, respecto al tratamiento del material del mandril, se detectó que las muestras A y B exhibieron una dureza superior a la especificada. Esta dureza excesiva generó una variación porcentual de aproximadamente un 20% en las zonas de transición de dureza, las cuales coincidieron con las áreas donde se produjeron las fracturas. Este incremento en la dureza, sin una adecuada transición, reduce la tenacidad del material, haciéndolo más susceptible a fracturas bajo condiciones de estrés.

La combinación de ambos factores—un acabado superficial deficiente en el agujero de refrigeración y una dureza diferencial excesiva—se identifican como la principal causa de las fallas ocurridas en los mandriles analizados. Estos hallazgos subrayan la necesidad de mejorar tanto los procesos de acabado superficial como el control de dureza durante la fabricación para evitar futuras fallas similares.

TRABAJOS FUTUROS

Se realizará la simulación computacional del proceso de extrusión directa de tubos de latón con el fin de establecer los factores de influencia sobre la carga actuante en el mandril [4], así como también se buscará determinar las zonas del mandril sometidas a mayores valores de tensión y su relación con la zona de falla.

REFERENCIAS

- [1] Abate G, Perez D, Martinez Krahmer D (2019). Determinación de las causas de un Defecto de Rayado en la Superficie de un Envase de Aluminio Extruido en Frío. Congreso 39 SENAFOR, Porto Alegre, Brasil
- [2] Abate G, De Ferrari N, Martinez Krahmer D, Bunte C (2016). Utilización de SIMUFACT.Forming para la reproducción y análisis por FEA de una falla en un proceso de extrusión en caliente de Titanio grado 2. Congreso 36 SENAFOR, Porto Alegre, Brasil
- [3] Campbell F (2012). Fatigue and Fracture: Understanding the Basics. ASM International. ISBN: 978-1-61503-976-0
- [4] Choi B, Moon I, Oh Y, Kang S, Kim S, Jung J, Kim J, Kim D, Lee H (2021). Die Design for Extrusion Process of Titanium Seamless Tube Using Finite Element Analysis. Metals, 11, 1338. DOI: 10.3390/met11091338