

ANÁLISIS DE FALLA DE UNA MATRIZ DE EXTRUSIÓN DE ALUMINO

Bonvicini Menéndez, Pablo E.; Urrutipi, Facundo; Echarri, Juan M.; Martínez, Angel J.; Bilmes, Pablo D.; Llorente, Carlos L.

Laboratorio de Investigaciones en Metalurgia Física “Ing. Gregorio Cusminsky” (LIMF) –
Facultad de Ingeniería – UNLP – CIC PBA
48 y 116, La Plata, Buenos Aires, Argentina
pablo.bonvicini@ing.unlp.edu.ar

Introducción

Una matriz de extrusión, fabricada en acero para herramientas del tipo AISI H13, falló en forma súbita al comenzar a aplicarle carga en su primera operación luego de su tratamiento térmico final de nitrocementación.



Figura 1 Fotografías de recepción Matriz Fracturada

Desarrollo Experimental y Discusión de Resultados

Sobre la matriz fracturada se realizaron los siguientes estudios:

- Análisis fractográfico.
- Análisis químico mediante espectroscopía de emisión óptica (OES) del material que constituye la matriz, empleando espectrómetro Oxford Foundry Master.
- Análisis microestructural mediante microscopía óptica empleando un microscopio óptico (MO) marca LEICA modelo DM 4000 M LED equipado con software comercial de análisis de imagen Leica Application Suite (LAS Core) V4.8 y microscopía electrónica de barrido analítica (SEM-EDS), empleando un microscopio FEI Quanta 200 – Espectrómetro Dispersivo en Energías Oxford.
- Perfil de Microdureza desde la superficie al material base, empleando un microdurómetro PETRI

En la Tabla 1 se presenta el resultado del análisis químico efectuado sobre el material con el que se fabricó la matriz de extrusión. El mismo se corresponde con un acero para herramientas de medio carbono aleado con Cr, Mo y V para trabajado en caliente (*Hot Work Tool Steel*) Grado 1.2344 (*del tipo AISI H13 o UNI X40CrMoV5-1*) de acuerdo con la norma DIN ISO 4957. Este material es acorde para la aplicación en cuestión.

Tabla 1

Análisis químico elemental mediante OES del material de la matriz.

Id.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Fe
Matriz	0,39	0,83	0,43	0,026	0,002	5,25	1,15	0,14	0,97	Bal.
DIN ISO 4957 1.2344	0,35- 0,42	0,80- 1,20	0,25- 0,50	0,03 Máx.	0,02 Max.	4,80- 5,50	1,10- 1,50	--	0,85- 1,15	Bal.

(Espectrómetro marca Oxford Instruments, 2013– Germany)

En la Figura 2 se muestran superficies de fractura de la matriz. El análisis fractográfico revela características macroscópicas de una rotura frágil (*numerosas marcas radiales en los planos de fractura y labios de corte hacia el final de fractura sobre superficies libres*).

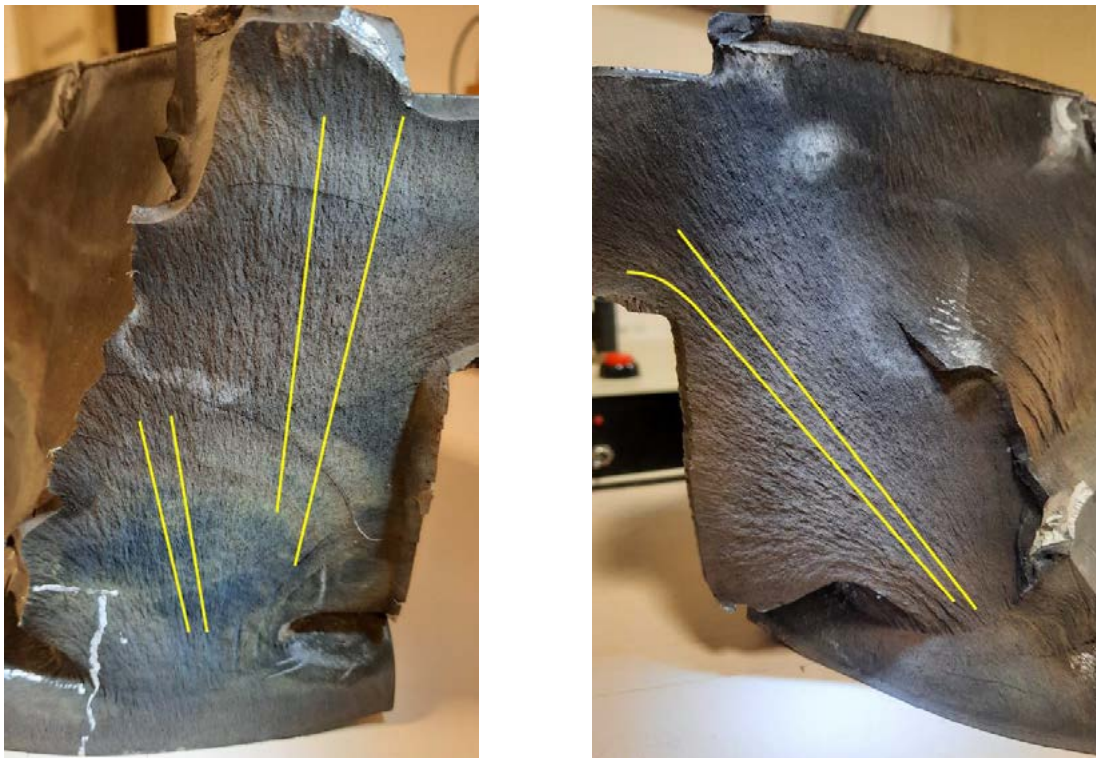


Figura 2 Superficies de fractura de la matriz de extrusión. En amarillo, se simbolizan las marcas de propagación radiales.

En las Figuras 3 y 4 se muestra la microestructura del núcleo de la matriz de extrusión. Esta es martensita revenida (fina dispersión de pequeños carburos esféricos en una matriz ferrítica). No se observan discontinuidades ni defectos, y el material es homogéneo; todo lo cual indica que el tratamiento térmico de temple y revenido del acero fue correctamente efectuado. En las Figura 5 y Figura 6 se muestra la microestructura correspondiente a la región superficial de la matriz de extrusión, que fue sometida a un tratamiento termoquímico de endurecimiento superficial mediante nitrocarburoización. La observación mediante microscopía óptica revela presencia de una zona de difusión de entre 90-100 μm de espesor (contraste más oscuro en la Figura 5). Adicionalmente se observa una capa superficial clara denominada *compound layer* (formada por nitruros y carbonitruros). Se notan dos tonalidades en la Figura 6 del detalle de la capa superficial, en contraste con la característica capa blanca (*White Layer*) de nitruro ϵ que se suele encontrar en los componentes nitrurados o nitrocarburoados. También se destaca la formación de precipitados gruesos en los límites de los granos de la austenita previa (γ_{previo}) en la región subsuperficial cercana al borde de la capa nitrocarburoada (señalado con flechas rojas en la Figura 6). Debe destacarse que la presencia de estos precipitados (de acuerdo con la bibliografía pueden ser nitruros de hierro $-\text{Fe}_3\text{N}-$, carbonitruros o cementita) da

lugar a una excesiva fragilidad de esta zona y, por lo tanto, a promover fallas prematuras por fractura frágil; comprometiendo así la integridad estructural de la matriz de extrusión. Este tratamiento superficial proporcionó un marcado endurecimiento de la superficie, como lo demuestra la evolución del perfil de microdureza mostrado en la Figura 7, desde 480-490 HV (sustrato) a una dureza máxima de ~820 HV (cerca de la superficie). La profundidad efectiva, definida como la profundidad donde la dureza es 100 unidades HV más alta que en el núcleo¹ ronda los 80 μm . La profundidad de penetración del tratamiento, estimada a partir del perfil de dureza, es consistente con la respuesta al ataque de la capa superficial observada con anterioridad.

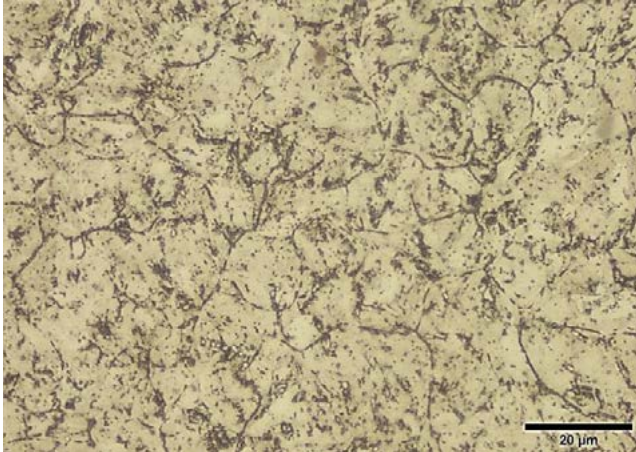


Figura 3 Microestructura del sustrato de la matriz de extrusión. Micrografía óptica, campo claro. Reactivo de ataque: Nital 2%. 1000X.

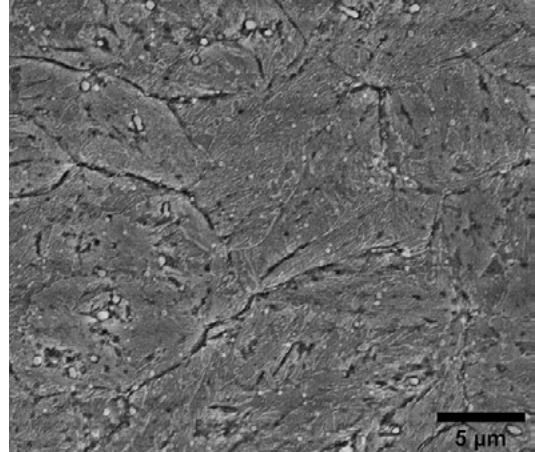


Figura 4 Microestructura del sustrato de la matriz de extrusión. Micrografía SEM, electrones secundarios. Reactivo de ataque: Nital 2%. 10000X.

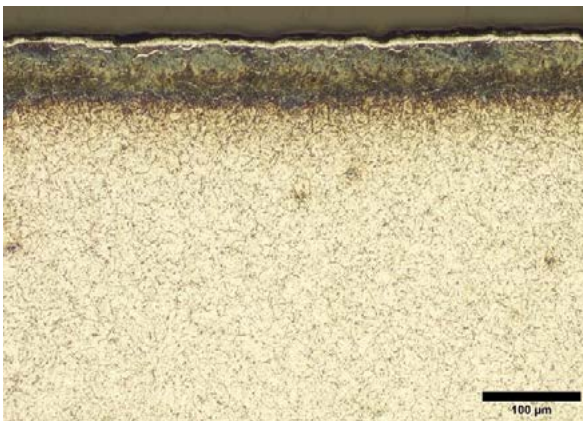


Figura 5 Microestructura superficial de la matriz de extrusión. Micrografía óptica, campo claro. Reactivo de ataque: Nital 2%. 200X.

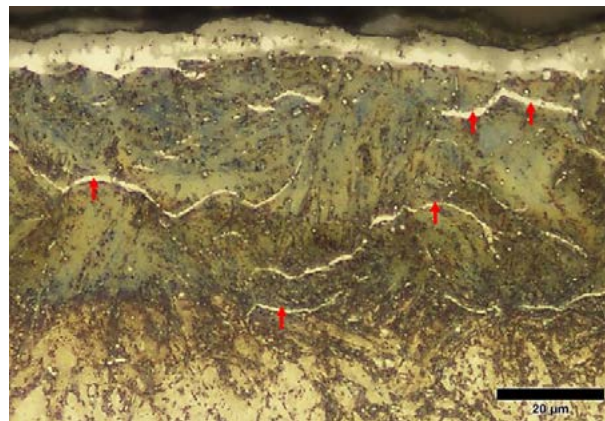


Figura 6 Microestructura superficial de la matriz de extrusión. Detalle de la capa superficial nitrocarburo. Micrografía óptica, campo claro. Reactivo de ataque: Nital 2%. 1000X. Flechas rojas señalan precipitados en borde de grano γ_{previo} .

¹ UNI 5478:1999 Heat Treatment Of Metallic Materials - Nitriding

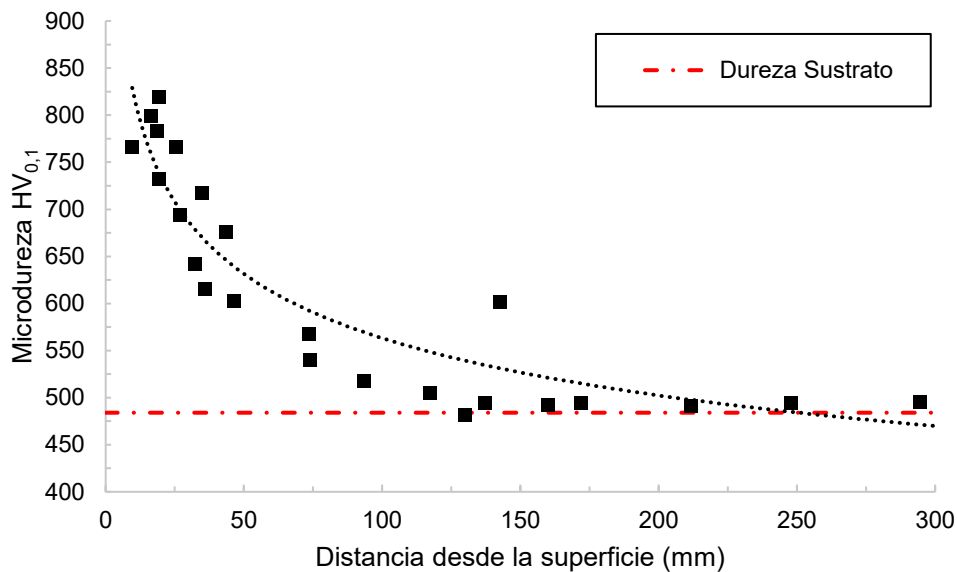


Figura 7 Perfil de microdureza desde la superficie nitrocarburada hasta el sustrato.

En la Figura 8 se muestra la microestructura de la región superficial de la matriz de extrusión obtenida mediante microscopía electrónica de barrido, la cual confirma en detalle a mayor aumento y definición, la presencia de los precipitados gruesos y continuos en los límites de los granos de la austenita previa (producto de la nitrocementación) y la presencia de múltiples microfisuraciones, tanto de la capa superficial (*capa compuesta*) como de la región subsuperficial, a lo largo de los precipitados en borde de grano γ_{previo} (*intergranular*). Esto se considera atribuible a la gran cantidad de los precipitados de carbonitruros sobre límite de grano en la capa de difusión y al endurecimiento excesivo por solución sólida (intersticial por C y N) de la ferrita. Dado que la tenacidad a la fractura de la capa de difusión es muy baja, las fisuras pueden propagarse fácilmente hasta el material del sustrato, afectando adversamente la integridad estructural del elemento.

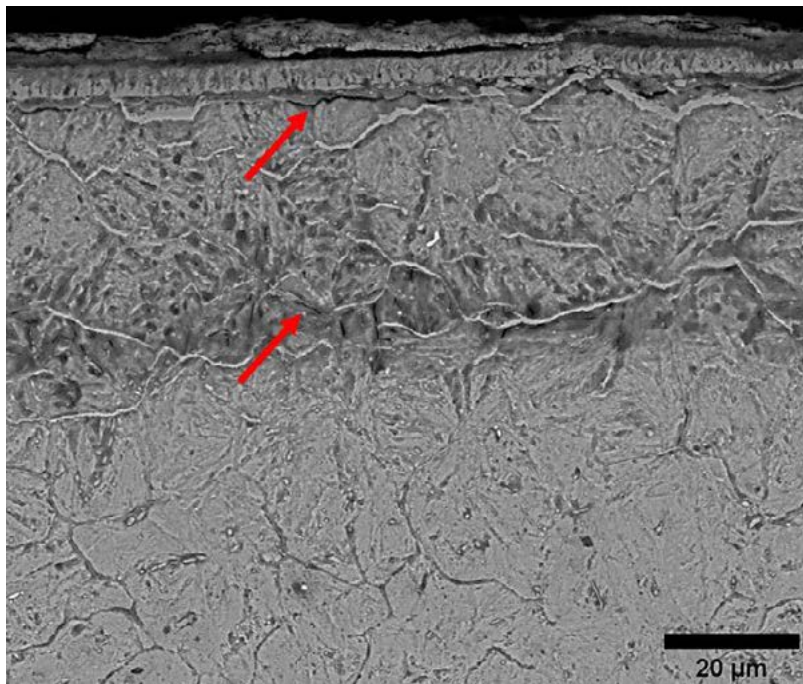


Figura 8 Microestructura superficial de la matriz de extrusión. Detalle de la capa superficial nitrocarburada. Micrografía electrónica de barrido, electrones retrodispersados. Reactivo de ataque: Nital 2%. 2500X. Con flechas rojas se señala presencia de microfisuras.

La Figura 9 muestra mapeos de rayos X obtenidos por EDS, y la Figura 10 un barrido de línea EDS sobre esta región microestructural para conocer la distribución elemental, particularmente de C, O y N. En estos análisis se evidencia la presencia de una muy fina capa externa de oxidación superficial, que se encuentra por encima de la capa nitrocarburada. También se observa la región de difusión enriquecida en C y N, respecto del sustrato.

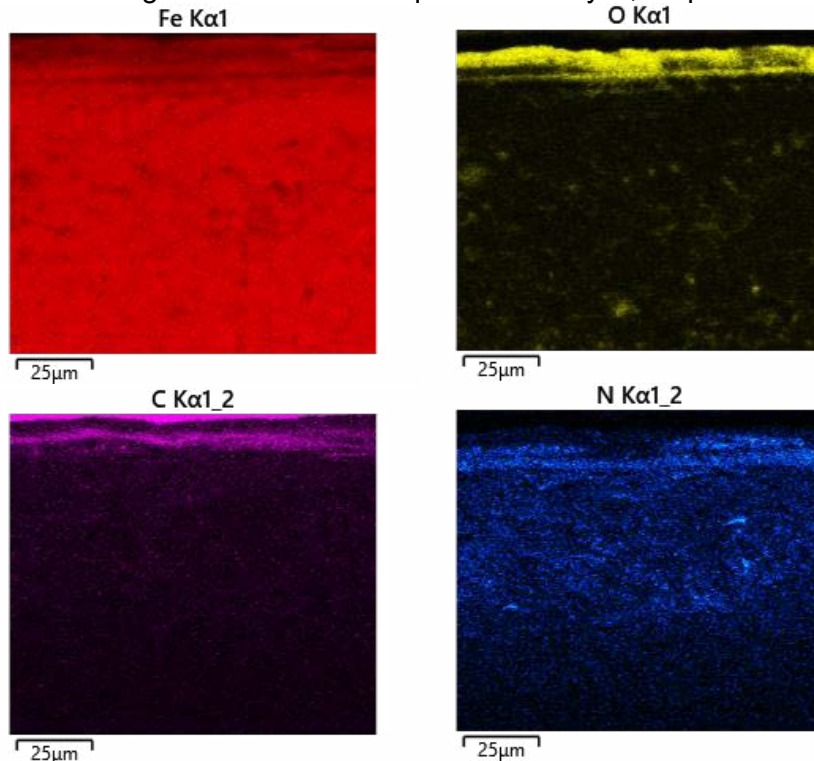


Figura 9 Mapeo elemental EDS sobre la región superficial de la **Figura 8**.

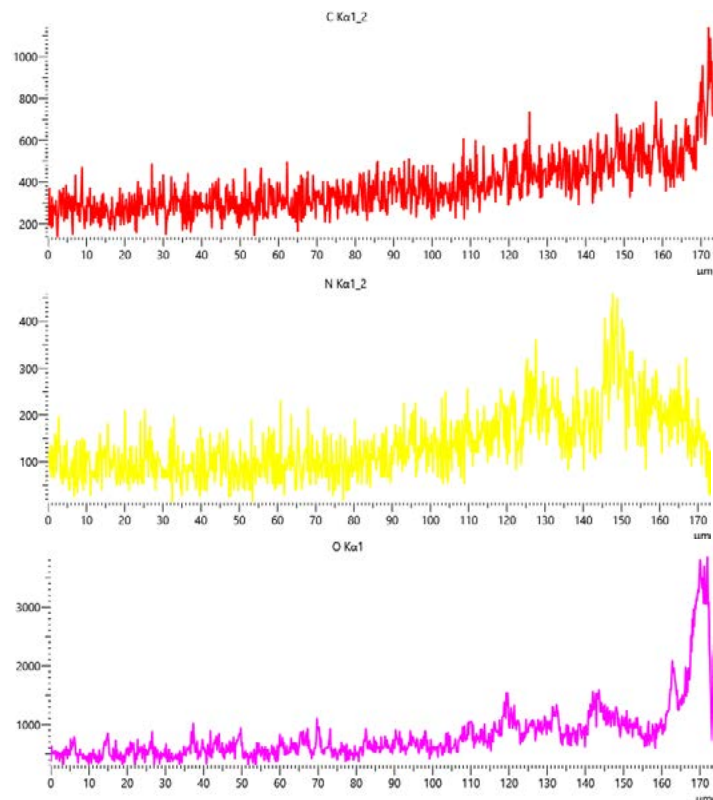


Figura 10 Barrido de línea de los elementos C, N y O desde el sustrato hacia la superficie

Conclusiones

A partir de los análisis fractográficos y microestructurales, se reveló que la fractura de la matriz ocurrió en forma frágil a causa de las inapropiadas propiedades de su capa superficial nitrocementada, que presentó numerosas redes continuas de precipitados frágiles en los límites de grano primario del acero con microfisuras asociadas a los mismos. La presencia de estos precipitados en la capa nitrocementada (nitruros de hierro, carbonitruros o cementita), sumado al endurecimiento excesivo por solución sólida (intersticial por C y N) de la ferrita, hace que su tenacidad a la fractura sea muy baja y que frente a mínimas tensiones se fisure con fácil propagación por el resto del material.

Bibliografía

- [1] Vander Voort, G. F. (2018). Failures of Tools and Dies. *Failure Analysis and Prevention*, 11. <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v11.a0001814>
- [2] ASM International (2013), *ASM Handbook Volume 4A Steel Heat Treating Fundamentals and Processes*.
- [3] Psyllaki, P., Kefalonikas, G., Pantazopoulos, G., Antoniou, S., & Sideris, J. (2003). Microstructure and tribological behaviour of liquid nitrocarburised tool steels. *Surface and Coatings Technology*, 162(1), 67–78. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00566](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00566)
- [4] Pérez, M., & Belzunce, F. J. (2016). A comparative study of salt-bath nitrocarburizing and gas nitriding followed by post-oxidation used as surface treatments of H13 hot forging dies. *Surface and Coatings Technology*, 305, 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.003>
- [5] Pérez, M., & Belzunce, F. J. (2015). The effect of deep cryogenic treatments on the mechanical properties of an AISI H13 steel. *Materials Science and Engineering A*, 624, 32–40. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2014.11.051>
- [6] Pellizzari, M., Molinari, A., & Straffelini, G. (2003). Thermal fatigue resistance of gas and plasma nitrided 41CrAlMo7 steel. *Materials Science and Engineering A*, 352(1–2), 186–194. [https://doi.org/10.1016/S0921-5093\(02\)00867-5](https://doi.org/10.1016/S0921-5093(02)00867-5)
- [7] Birol, Y. (2012). Analysis of wear of a gas nitrided H13 tool steel die in aluminium extrusion. *Engineering Failure Analysis*, 26, 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.07.016>
- [8] Somers, M. A. J. (2014). Development of Compound Layer and Diffusion Zone during Nitriding and Nitrocarburizing of Iron and Steels. In *Comprehensive Materials Processing* (Vol. 12). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.01215-2>.
- [9] Matteis, P., Scavino, G., Quadrini, E., Perucci, P., & Firrao, D. (2009). Damage of repeatedly nitrocarburised steel dies for aluminium extrusion. *Surface Engineering*, 25(7), 507–516. <https://doi.org/10.1179/026708408X339073>.
- [10] G. Krauss, *Steels: Processing, Structure, and Performance*, ASM International, Materials Park (OH) (2015).
- [11] G. Roberts, G. Krauss, R. Kennedy (Eds.), *Tool Steels*, 5th ed., ASM International, Materials Park (OH), 1998
- [12] Wang, J., Xu, Z., & Lu, X. (2020). Effect of the Quenching and Tempering Temperatures on the Microstructure and Mechanical Properties of H13 Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 29(3), 1849–1859. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-04686-0>