

Estudio de desgaste de láminas de acero deformadas con herramientas recubiertas

Wear study of deformed steel sheets coated tools with

Diana M. Devia-Narvaez¹, Fernando Mesa², Diego F. Devia Narvaez³
^{1,2,3}Departamento de Matemáticas. Universidad Tecnológica de Pereira
 dianadevia@gmail.com

Resumen— Los recubrimientos duros han sido ampliamente utilizados en la industria metalmeccánica para la protección de las superficies de las herramientas debido a las propiedades de las capas como baja fricción y alta resistencia al desgaste, siendo estos tratamientos superficiales adecuados para disminuir los costos en la industria. De acuerdo a esto, esta investigación se enfoca en el análisis de láminas de acero AISI 1045 deformadas con herramientas de conformado recubiertas con nitruro de titanio aluminio (TiAlN) depositados por la técnica Magnetron Sputtering Triodo. El análisis se realiza a partir de las propiedades superficiales y químico que influyen directamente en el comportamiento tribológico.

Palabras clave— Abrasión, Desgaste, herramientas, TiAlN.

Abstract— Hard coatings have been widely used in the metalworking industry for the protection of the surfaces of the tools due to the properties of the layers as low friction and high wear resistance, these being suitable for lower costs surface treatment industry. Accordingly, this research focuses on the analysis of AISI 1045 deformed steel sheets forming tools coated with titanium aluminum nitride (TiAlN) deposited by magnetron sputtering technique Triode. The analysis is conducted from the surface and chemical properties that directly influence the tribological behavior.

Key Word — Abrasion, Wear, tools, TiAlN.

I. INTRODUCCIÓN

El conformado en frío de láminas metálicas es empleado para la fabricación de componentes en la industria automotriz, empaques de alimentos, productos de hogar, juguetería e implementos para la industria de la construcción, entre otros. El proceso comprende todos los métodos de fabricación que utilizan la deformación plástica de metales o aleaciones (a temperatura ambiente y ejerciendo una presión elevada), sin modificar el volumen, el peso o las propiedades

microestructurales del material [1]. El embutido o estampado es un proceso de conformación en frío, utilizado para la fabricación de recipientes o contenedores en forma de copa cilíndrica, caja o semiesfera, que consiste en la deformación de una chapa metálica en un sistema matriz-punzón, aplicando una fuerza que exceda la resistencia a la fluencia del material [2]. La productividad de los sistemas de fabricación de productos por deformación plástica de metales, es decir conformado, embutido y estampado, compuestos por la herramienta (punzón), la matriz y la chapa metálica, depende del consumo de energía, fuertemente afectado por la fricción y el desgaste en sus componentes y el consumo de lubricante. Es decir, el comportamiento tribológico es un factor clave en la productividad del sistema, por lo que el estudio de los mecanismos de fricción y desgaste busca básicamente la disminución de energía y el incremento de la productividad logrando procesos más rápidos y precisos [3].

La necesidad de aumentar la productividad en la industria ha impulsado el desarrollo de nuevos compuestos para la fabricación de herramientas en el procesamiento de materiales. Este esfuerzo ha conducido a la aplicación de recubrimientos duros sobre aceros de herramientas o materiales sinterizados utilizando técnicas de deposición por plasma. En el contexto global, el 90% del mercado en el área de materiales de ingeniería se enfoca al tema de tratamientos de superficies y recubrimientos de metales y aleaciones [4].

La alternativa de aplicación de recubrimientos para el mejoramiento del desempeño de las herramientas de corte y conformado, ha sido explorada desde hace tres décadas, esto ha permitido mayor productividad en las empresas debido a que la microestructura de los recubrimientos proporcionan propiedades superiores a las herramientas sin tratamientos superficiales [5].

El desarrollo industrial en los últimos años ha generado varias demandas en tecnología de materiales enfocados a mejorar el comportamiento superficial de piezas industriales. Los

recubrimientos duros de metal de transición se utilizan para mejorar las propiedades de superficie de materiales y para aumentar su resistencia al desgaste y a la corrosión [6]. Una de las películas delgadas más prometedoras es TiAlN, especialmente debido a su resistencia a la oxidación [7], alta dureza, bajo coeficiente de fricción, y la resistencia al desgaste [8]. Por otra parte, TiAlN es uno de los recubrimientos más utilizados en el mecanizado de alta velocidad y en las herramientas de conformado [9]. Los procesos de deposición física de vapor (PVD) son ampliamente utilizados para la producción de recubrimientos resistentes al desgaste y la corrosión en herramientas u otros componentes [10-12]. Una de las técnicas más utilizadas es la pulverización catódica, que ha sufrido varias modificaciones como el paso del tiempo, con el objetivo de mejorar los procesos de deposición, una de estas técnicas es el Magnetrón Sputtering Trífodo [13]. En este artículo, se presentan los resultados de desgaste de las láminas deformadas con herramientas recubiertas con TiAlN.

II. DETALLE EXPERIMENTAL

En este trabajo, se realiza un análisis del comportamiento tribológico laminas deformadas por herramientas de conformado con y sin recubrimientos. En la figura 1 se observa el sistema lamina/punzón.

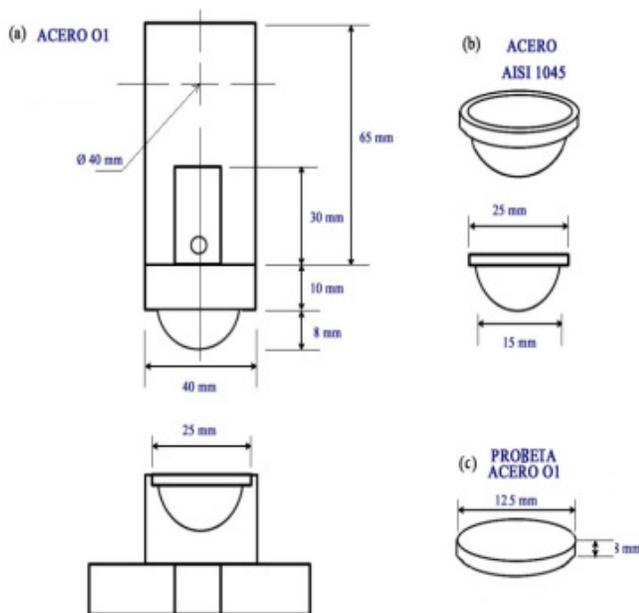


Figura 1. a) Esquema del sistema de conformado, b) Lámina de acero AISI 1045, c) Probeta acero O1.

Los punzones fueron recubiertos con TiAlN con condiciones de crecimiento de $-40V$, presión $3,3 \times 10^{-3}$ mbar a una temperatura de $300^{\circ}C$ durante 120 minutos, debido a que en estas condiciones de crecimiento de las capas se presentan las mejores propiedades estructurales, mecánicas y tribológicas

(figura 2). Las propiedades estructurales y superficiales de los recubrimientos utilizados fueron previamente estudiados [14].

Las especificaciones de los principales parámetros en el proceso de embutido se observan en la tabla 1. Para la herramienta sin recubrimiento se realizaron 60 unidades fabricadas debido a que en este número de ciclo se produce la falla de la superficie [15]. Con base a esto, se realizaron los análisis de los mecanismos de desgaste en la superficie de la lámina cuando se han fabricado 60, 120, 180 y 230 unidades. La superficie de las láminas deformadas se analizó por medio del Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) Philips XL-30. Mediante la técnica de semi-cuantitativa SEM/EDS se hizo un mapeo químico superficial sobre las muestras para identificar los elementos presentes durante el proceso de deformación.



Figura 2. Punzón recubierto con TiAlN.

Presión	1000Kg-F
Material del punzón	Acero O1
Material de la lamina	Acero AISI 1045
Espesor de la lamina	Calibre 16
Recubrimiento	TiAlN

Tabla 1. Parámetros básicos para las pruebas de embutido.

III. ANALISIS Y RESULTADOS

El análisis de la superficie para las copas obtenidas se estudia según el número de procesos que se fabrican, realizando una comparación de los mecanismos de desgaste que presentan a 60, 120, 180 y 230 unidades.

En la figura 3 y figura 4 se observa el desgaste de las láminas durante los primeros 60 procesos, se presenta pulimiento de las asperezas del par tribológico para el sistema con y sin tratamiento superficial; se observa una diferencia entre las dos superficies, ya que los óxidos producidos actúan como un tercer cuerpo, ya que estas partículas de desgaste producen arado en la dirección de deslizamiento, induciendo al mecanismo de abrasión [16]. Al fabricar 60 productos con herramientas recubiertas, se observa en la superficie de la chapa deformada, bajo rayado y poca transferencia de partículas, que de acuerdo con los análisis EDS presenta los elementos de la capa protectora.

Para la superficie de la lámina deformada después de 120 productos, se presenta transferencia de partículas provenientes de la delaminación parcial del recubrimiento, generando un pequeño incremento en el rayado de la superficie, la calidad de la superficie se conserva como en el proceso de 60 unidades fabricadas (figura 5).

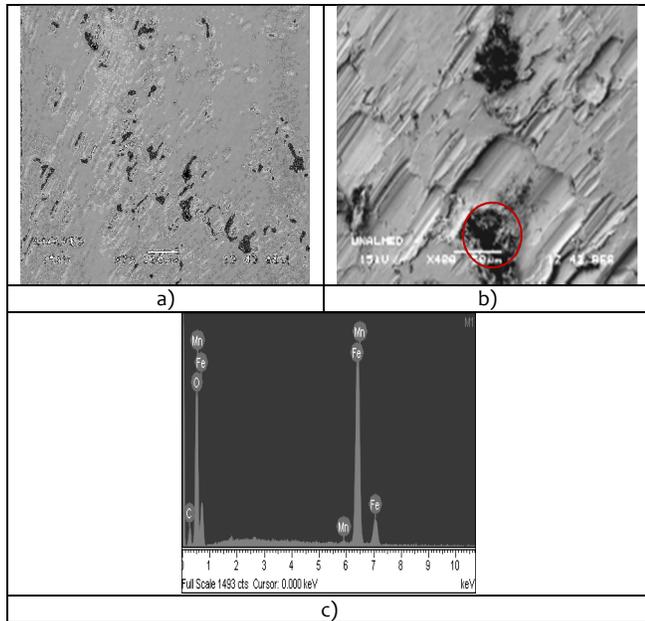


Figura 3. Análisis de la superficie del producto obtenido con después de 60 unidades fabricadas con herramientas sin tratamiento superficial.

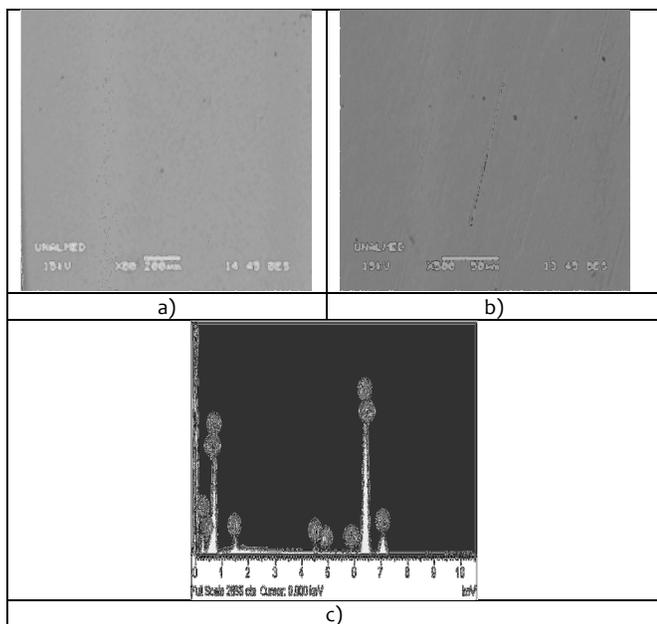


Figura 4. Análisis de la superficie del producto obtenido con después de 60 unidades fabricadas con herramientas con tratamiento superficial.

En la figura 6 se presentan las micrografías después de someter el punzón a 180 procesos. Se observa que la superficie de la lámina muestra fluencia y adhesión del material del punzón (acero AISI O1), debido a que la película se ha delaminado en su mayor parte; las partículas de recubrimiento TiAlN y el producido por la tribo-oxidación presentados en el punzón, están orientadas en la dirección de deslizamiento de la herramienta [17]. El análisis EDS de algunos sectores muestra los elementos correspondientes Ti y Al, producidos por la interacción mecánica de contacto junto con fuerzas electro-débiles sobre la lámina, donde se observa una distribución aleatoria de láminas de desgaste producidas por delaminación del sistema punzón/recubrimiento.

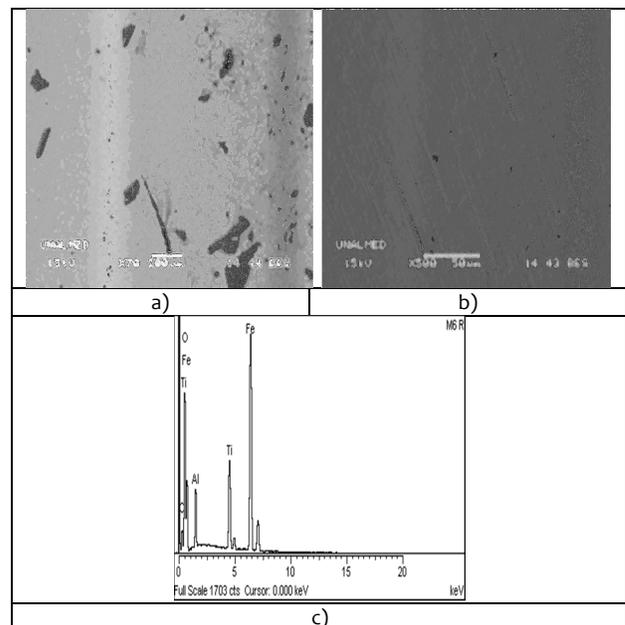


Figura 5. Análisis de la superficie del producto obtenido con después de 120 unidades fabricadas con herramientas con tratamiento superficial.

En la figura 7 se muestra la superficie para 230 procesos. Se observa que los mecanismos dominantes son deformación plástica y abrasión por tercer cuerpo, estos mecanismos de desgaste son similares a los presentados cuando se fabrican 60 unidades con herramientas sin tratamiento superficial [18]. El análisis EDS realizado sobre una sección de la superficie, no muestra elemento pertenecientes al recubrimiento lo que confirmando el daño total de la capa protectora y el desgaste total de la herramienta.

Las causas por los cuales la superficie de la lámina presenta desgaste después de fabricar 230 unidades son los siguientes: las partículas de desgaste generada durante el contacto y el pulimiento de asperezas del sistema lamina/punzón, produce partículas con cambio de composición química debido a la formación de óxidos y la deformación plástica [19]. Otro parámetro importante son los cambios estructurales de la superficie recubierta que se pueden ver modificados debido a los efectos de tribo-oxidación influyendo en la ductilidad del

material. Debido a las cíclicas se puede observar que la superficie se altera a causa del comportamiento tensión-deformación [20].

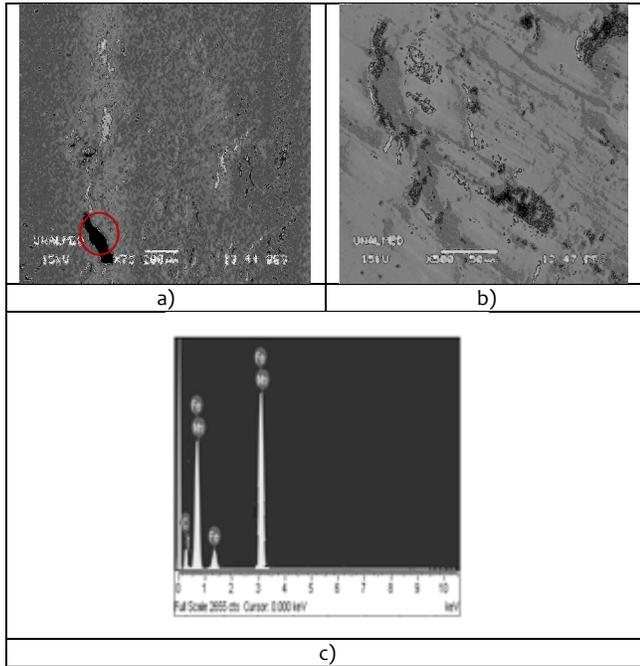


Figura 6. Análisis de la superficie del producto obtenido con después de 180 unidades fabricadas con herramientas con tratamiento superficial.

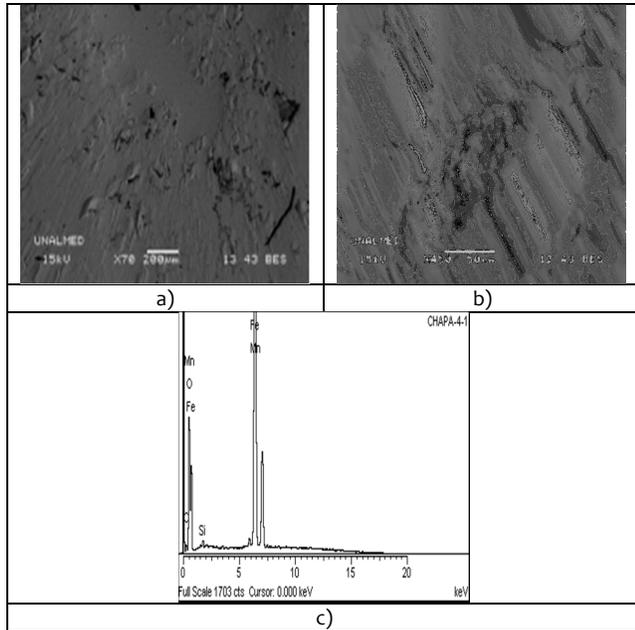


Figura 7. Análisis de la superficie del producto obtenido con después de 230 unidades fabricadas con herramientas con tratamiento superficial.

IV. CONCLUSIONES

Las pruebas de realizadas consistieron en la simulación del proceso de embutición en un taller de conformación de metales, a partir de un sistema chapa de acero 1045 y punzón con y sin tratamiento superficial. En esta simulación se pudo determinar que las herramientas con recubrimiento de TiAlN mejora la vida útil en un promedio de 3 veces mayor a una herramienta sin tratamiento superficial. Durante el contacto del sistema lámina/herramienta se catalizaron reacciones químicas que influyeron en la formación de elementos de tribo-oxidación que incrementan el desgaste de la superficie de la lámina que se está deformando. Los mecanismos identificados en la superficie de la lámina de acero AISI 1045 son la abrasión por tercer cuerpo, deformación plástica y formación de óxidos catalizados con el oxígeno y el calor generado por el contacto del sistema. La formación de estos óxidos son atribuidos a la tribocorrosión, ya que durante el contacto, la fuerza mecánica que se ejerce en el sistema produce calor (producto de la deformación de la chapa), que actúa como la energía de activación necesaria para catalizar reacciones triboquímicas con el oxígeno (medio aerobio) y los elementos que constituyen el recubrimiento y el acero de la herramienta.

REFERENCIAS

- [1]. J.R. Davis, S.L. Semiatin, "ASM Handbook, Vol. 14: Forming and Forging". ASM International; 9 edition, 1988.
- [2]. J. M. Juez Gil, "Técnicas de conformación mecánica". Disertación para optar por el título de ingeniero mecánico, Universidad de Extremadura, España, 2013.
- [3]. X. Salueña, A. Nápoles, "Tecnología mecánica", Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2000.
- [4]. B. Podgornik, S. Hogmark, "Surface modification to improve friction and galling properties of forming tools", Journal of Materials Processing Technology, vol. 174, Issues 1-3, 25, p.p. 334-341 2006.
- [5]. G. Vermesan, G. Negrea, "L'ingenierie des surfaces: un nouveau concept de réalisation de pièces mécaniques", Traitement Thermique, vol. 331, pp. 45-49. 2001
- [6]. H. Jiménez, D.M. Devia, V. Benavides, A. Devia, Y.C. Arango, P.J. Arango, J.M. Velez, "Thermal protection of H13 steel by growth of (TiAl)N films by PAPVD pulsed arc technique". Materials Characterization, vol. 59, p.p. 1070-1077. 2008.
- [7]. J.G. Han, J.S. Yoon, H.J. Kim, K. Song, "High temperature wear resistance of (TiAl)N films synthesized by cathodic arc plasma deposition", Surface and Coatings Technology, vol. 86-87, p.p. 82-87. 1996.
- [8]. L. Cunha, M. Andritschky, L. Rebouta, R. Silva, "Corrosion of TiN, (TiAl)N and CrN hard coatings

- produced by magnetron sputtering”, *Thin Solid Films* vol. 317, p.p. 351–355. 1998.
- [9]. C.P. Constable, D.B. Lewis, J. Yarwood, W.-D. Münz, “Raman microscopic studies of residual and applied stress in PVD hard ceramic coatings and correlation with X-ray diffraction (XRD) measurements”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 184, p.p. 291-297. 2004.
- [10]. J. Vetter, A.J. Perry, “Advances in cathodic arc technology using electrons extracted from the vacuum arc”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 61, p.p. 305-309. 1993.
- [11]. O. Knotek, W.D. Manz, T. Leyendecker, “Industrial deposition of binary, ternary, and quaternary nitrides of titanium, zirconium, and aluminum”, *Journal of Vacuum Science and Technology A*, vol. 5, p.p. 2173–2179. 1987.
- [12]. O. Knotek, F. Löffler, G. Krämer, “Arc-deposited Ti-Zr-N coatings on cemented carbides for use in interrupted cutting”, *Surface and Coatings Technology*, vol. 49, p.p. 325-329. 1991.
- [13]. L.C. Fontana, J.L.R. Muzart, “Characteristics of triode magnetron sputtering: the morphology of deposited titanium films”*Surface and Coatings Technology*, vol. 107, p.p. 24-30. 1998.
- [14]. D.M.Devia, E. Restrepo-Parra, J.M.Velez-Restrepo, “Structural and Morphological Properties of Titanium Aluminum Nitride Coatings Produced by Triode Magnetron Sputtering”, *Ingeniería y Ciencia*, vol. 10, no. 20, pp. 51–64. 2014.
- [15]. D.M.Devia, “Mecanismos de desgaste en herramientas de conformado con recubrimientos de TiAlN por medio de sistemas PAPVD”, *Disertación para optar por el título de Doctor en Ingeniería*, Universidad Nacional de Colombia, 2012.
- [16]. K. Holmberg, A. Matthews, “*Coatings Tribology, 2nd Edition, Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*, Elsevier Science, 2009.
- [17]. M. Petrica, C. Katsich, E. Badisch, F. Kreamsner, “Study of abrasive wear phenomena in dry and slurry 3-body conditions”, *Tribology International*, vol. 64, pp. 196-203. 2013.
- [18]. P. Mutafov, M. Evaristo, A. Cavaleiro, T. Polcar, “Structure, mechanical and tribological properties of self-lubricant W–S–N coatings”, *Surface and Coatings Technology*, vol 261, no 15, pp. 7-14, 2015.
- [19]. E. Mohseni, E. Zalnezhad, A.R. Bushroa “Comparative investigation on the adhesion of hydroxyapatite coating on Ti–6Al–4V implant: A review paper”, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol 48, pp. 238-257.2014
- [20]. Guojia Ma, Guoqiang Lin, Shuili Gong, Xing Liu, Gang Sun, Hongchen Wu, “Mechanical and corrosive characteristics of Ta/TaN multilayer coatings”, *Vacuum*, vol 89, pp. 244-248. 2013.