

CAMBIOS INDUCIDOS DURANTE EL DESGASTE POR FRICCIÓN SIN LUBRICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

M.R. Rosenberger^{a, b*}, C. E. Schvezov^b, E. Forlerer^c

^(a) Ins. Téc. "J. Sabato" - UNSAM - CNEA, Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Bs.As.

^(b) FCEQYN - UNaM, Félix de Azara 1552 - (3300) Posadas, Misiones, Argentina.

^(c) Dto. Materiales - CNEA, Av. Gral. Paz 1499 (1650) San Martín, Bs. As. Argentina.

e-mail: forlerer@cnea.gov.ar, rrmario@fceqyn.unam.edu.ar

Se detallan los cambios observados en diferentes materiales compuestos de matriz de aluminio, sometidos a desgaste por fricción sin lubricación. Los ensayos de desgaste se realizaron en un equipo pin on ring, con un ring de acero de dureza 272 HB, a una velocidad de deslizamiento de 2,7 m.s⁻¹ y desgastados hasta una distancia de 2000 m, aplicando una fuerza normal de 32,4 N. En todos los casos se obtuvo una capa de material mezclado mecánicamente formado por aluminio y partículas de refuerzo del material compuesto y por hierro proveniente del ring, esta capa mezclada fue más dura que el material original y se ubicó en la zona de deslizamiento. Debajo de la capa mezclada se observó una zona de material deformado plásticamente, extrudado en la dirección de deslizamiento y levemente endurecido respecto al material original. Estos fenómenos influyen directamente en la resistencia al desgaste de los materiales compuestos.

The changes in the structure of the affected region in aluminum matrix composites subject to dry wear are reported. The wear tests were performed in a pin on ring machine, with a ring of 272 HB, at a velocity of 2.7 ms⁻¹. All the tests were run up to 2000 m, applying a force of 32.4 N. In all the cases a mechanical mixed layer was formed by aluminum and broken reinforcement particles of the original composite materials and by iron coming from the ring. This mixed layer was harder than the bulk material. Underneath this mixed layer it was observed a zone of plastic deformed material, extruded to the sliding direction and slightly harder than the bulk material. The properties of this mixed layer accounts for the higher wear resistant of the composites.

I. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de matriz de aluminio son utilizados en muchas partes sometidas a desgaste, tales como discos de frenos, varillas de transmisión, bielas y pistones en motores de combustión, entre otras aplicaciones^(1, 2).

Generalmente el desgaste produce cambios en la superficie sometida a deslizamiento. En condiciones de deslizamiento no lubricado es frecuente encontrar fallas superficiales tales como: fisuras, cráteres, material adherido y surcos de abrasión. También se producen cambios subsuperficiales al someter un material al desgaste, estos cambios son deformaciones plásticas y eventualmente endurecimiento por deformación, dependiendo en gran medida de los materiales desgastados^(3, 4).

En los materiales compuestos los cambios inducidos por el desgaste son más complejos que en materiales monolíticos. Además, dependen del tipo y propiedades del material de la contraparte⁽⁵⁾.

En este trabajo se ensayaron diferentes tipos de refuerzos en una matriz de aluminio, se observaron los cambios en la subsuperficie inducidos por el desgaste y se correlacionaron con la resistencia al desgaste.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se emplearon cuatro tipos de refuerzos diferentes: B₄C, B₂Ti, Al₂O₃, y Ti₃Al. En diferentes proporciones reforzando una matriz de AA6061. Además, se

Tabla I: Composición y características de los materiales utilizados

Matriz, Refuerzo, %en volumen	Morfología Refuerzo	Proceso de fabricación
6061	-sin reforzar-	Polvos mezclado en molino de bolas, compactado: Fundido y Colado
6061 + 5 % B ₄ C	4 a 10 µm, nodulares	
6061 + B ₂ Ti 5%, 10%, 15%	4 a 10 µm, irregulares	Polvos mezclado con los refuerzos en molino de bolas y compactado: Fundido y colado por centrifugación
6061 + Ti ₃ Al 5%, 10 %	20 a 30 µm esféricas	
6061 + Al ₂ O ₃ 5%, 10%, 15%	1 a 2 µm	

ensayo el material de la matriz sin reforzar. Las características de las probetas se indican en la tabla I.

Los ensayos de desgaste se realizaron en una máquina "pin on ring", bajo las siguientes condiciones: 32,4 N de carga, 2,7 ms⁻¹ de velocidad de deslizamiento y desgastadas hasta una distancia de 2000 m.

Se utilizaron probetas cilíndricas de 5 mm de diámetro por 15 mm de longitud. Donde la cara circular fue sometida a desgaste contra la superficie cilíndrica de un disco de acero de 170 mm de diámetro. Ambas

superficies fueron pulidas con papel abrasivo hasta los # 1200 y terminadas con suspensión de alúmina de 1 μm .

Para observar los cambios inducidos por el desgaste se realizaron cortes longitudinales en las probetas cilíndricas, siguiendo la dirección de deslizamiento, ver figura 1.

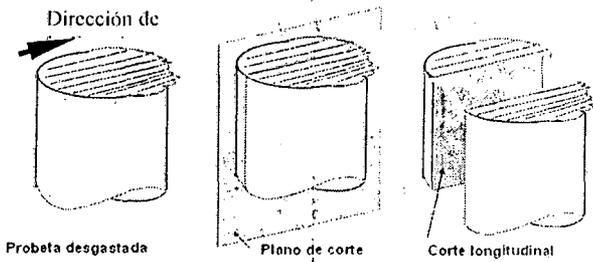


Figura 1: Esquema indicando la situación del corte longitudinal.

III. RESULTADOS

Magnitud del desgaste

Las probetas de materiales compuestos acusaron un desgaste dos órdenes de magnitud menor que el material sin reforzar, ver la figura 2. Para un mismo tipo de refuerzo no hay diferencia significativa en la magnitud del desgaste a diferentes proporciones de refuerzos. También, en la figura 2, se observa, que las probetas de materiales compuestos reforzados con Al_2O_3 presentan mayor desgaste que los otros refuerzos ensayados, esto puede deberse a que el tamaño de los refuerzos de alúmina es un orden de magnitud menor que los otros refuerzos.

Cambios inducidos

En los cortes longitudinales de todas las probetas de materiales compuestos se observaron tres regiones bien diferenciadas:

- En la superficie de desgaste: una Capa de material Mezclado Mecánicamente (CMM)
- Debajo de la CMM: una región de material Deformado Plásticamente en la dirección de

deslizamiento (CDP)

- Debajo de la CDP: una región de material original, sin alteraciones.

Esas regiones pueden observarse en la figura 3.

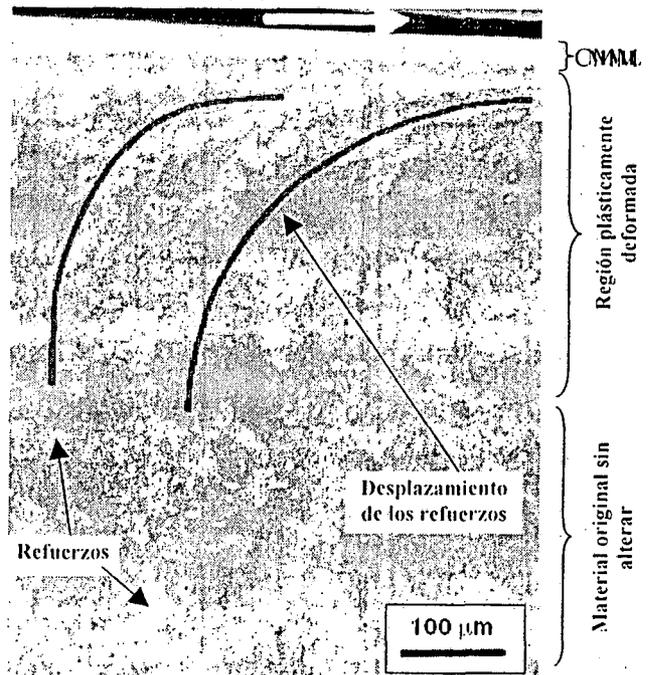


Figura 3: Subsuperficie del AA6061 / B₂Ti / 5p. Se observan las tres regiones: CMM, CDP y material original sin alteración.

Capa Mezclada Mecánicamente

En la superficie de desgaste se ha formado una capa de material mezclado que reemplaza al material compuesto original, con propiedades mecánicas diferentes. En la figura 4 se muestran las medidas de microdureza Vickers de esta capa mezclada y se pueden comparar con la dureza de la matriz original en las mismas probetas. La dureza de las CMM fue 3 a 5 veces superior a la dureza de la matriz, y del mismo orden que la dureza de la contraparte de acero, de 272 H Brinell.

La capa mezclada también acusó un alto contenido de hierro, proveniente de la contraparte,

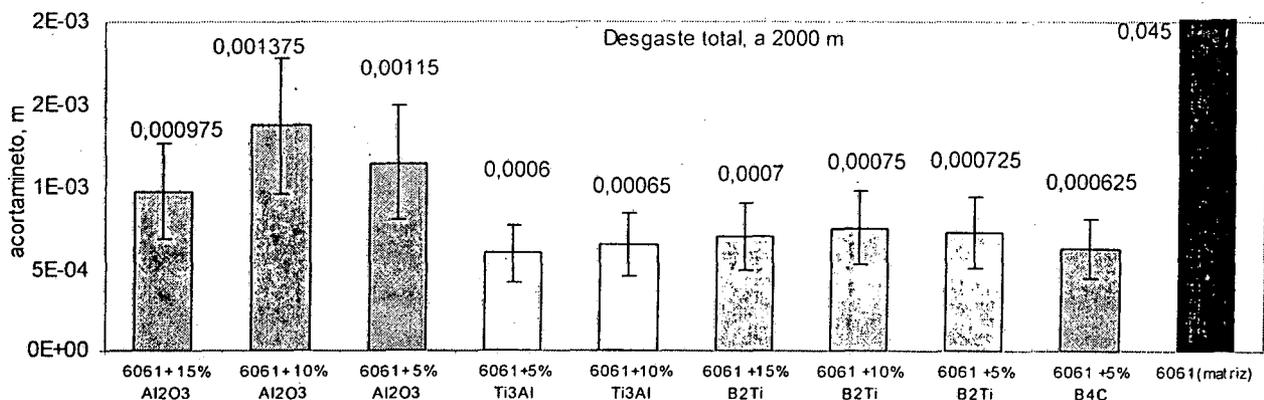


Figura 2: Desgaste total de las probetas, a los 2000 m, se indican las barras de error para una confianza del 95%. El desgaste se midió por el acortamiento de las probetas.

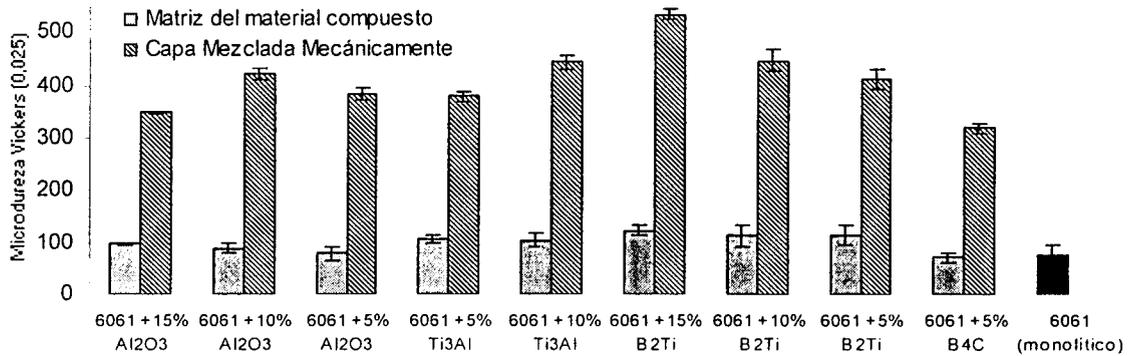


Figura 4: Microdureza de la Capa Mezclada Mecánicamente y de la matriz del material compuesto, ambas se dan en microdureza Vickers (0.025). En ambos casos se tomaron por lo menos 5 medidas.

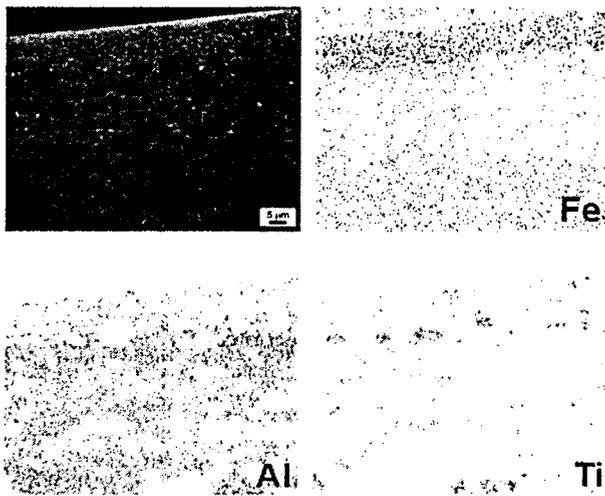


Figura 5: Mapeo de la subsuperficie de AA6061 / B₂Ti / 15p. El mayor contenido de Hierro se circunscribe a la CMM. El titanio se debe a los refuerzos. En la CMM se observan refuerzos fragmentados.

además, se observaron refuerzos fragmentados. En la figura 5 se muestra el mapeo de Fe, Al y Ti de la subsuperficie de una probeta desgastada de material compuesto.

En el material sin reforzar no se encontró esta capa mezclada mecánicamente.

El espesor de la capa mezclada es de aproximadamente 25 µm, excepto en 6061 / Al₂O₃ / 10p donde su espesor es de 50 µm, ver la figura 6. En todos los casos su diferenciación del material de la matriz de aluminio fue facilitada por una diferencia en la coloración en el microscopio óptico.

Capa deformada plásticamente

Debajo de la CMM en las probetas de compuestos, se ubica la región deformada plásticamente, la cual estuvo sometida a esfuerzos normales y de corte. Por los esfuerzos de corte se produjo el desplazamiento de refuerzos, inicialmente alineados, en

la dirección de deslizamiento, ver la figura 3 donde se remarca el desplazamiento con líneas guías.

El espesor de la capa deformada plásticamente por corte puede ser estimado midiendo el límite donde los refuerzos no presentan desplazamientos, en algunos casos estos límites no estuvieron bien definidos por lo tanto se tiene una dispersión grande en los valores límites, a pesar de eso en la figura 6 se dan los valores promedios obtenidos. En el material sin reforzar la región deformada plásticamente por corte tiene un espesor de 60 µm con una dispersión de 10 µm.

En las CDP se observó poca cantidad de refuerzos fracturados y no se observaron fisuras en la matriz.

Endurecimiento por deformación

El endurecimiento por trabajado se cuantificó por la diferencia de microdureza de la matriz en la zona superior de la capa deformada plásticamente y la microdureza de la matriz del material original. Los valores de diferencia de microdureza se muestran en la figura 7. En la probeta de 6061 / B₂Ti / 15p estadísticamente no hay diferencia entre la dureza de ambas regiones. En las demás probetas, incluso en la de material sin reforzar, se encontró endurecimiento por trabajado.

IV. ANÁLISIS

La poca diferencia en la resistencia al desgaste de las probetas de materiales compuestos, ver la figura 2, puede estar relacionada con la presencia de la Capa mezclada Mecánicamente en la superficie de desgaste, la cual posee una dureza superior al material original, por lo tanto las vuelve más resistentes al desgaste.

La presencia de una capa mezclada mecánicamente sobre la superficie de materiales compuestos fue observada por otros investigadores, esta se forma dentro de un rango limitado de cargas, temperaturas y velocidades de deslizamiento⁽⁶⁻⁹⁾.

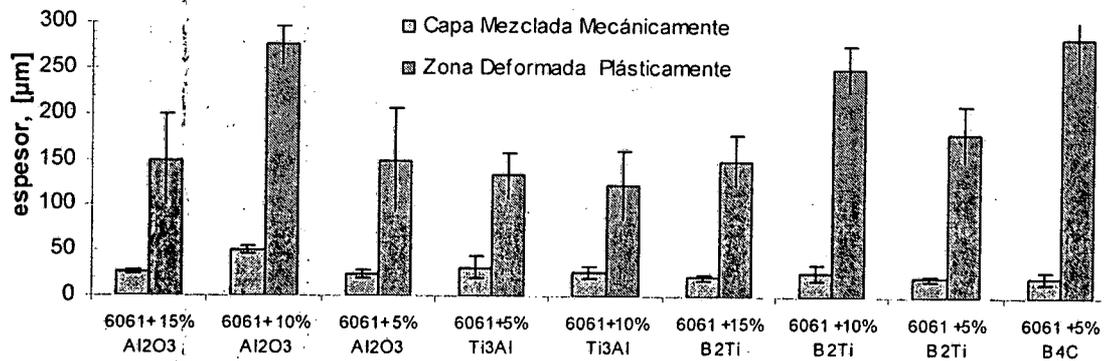


Figura 6: Espesores de la Capa Mezclada Mecánicamente y de la Capa deformada plásticamente. La dispersión en la capa deformada se debe a límites poco definidos.

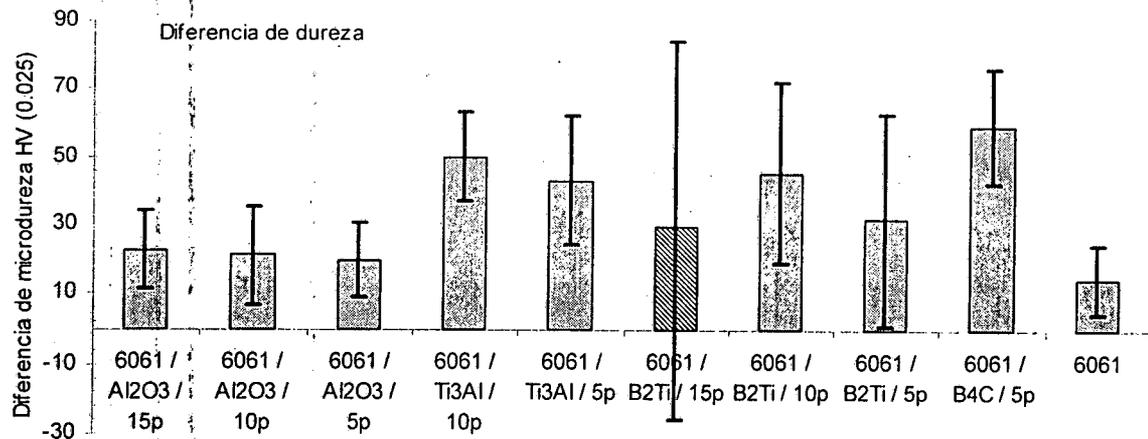


Figura 7: Endurecimiento por trabajado cuantificado a través de la diferencia de microdureza entre la capa superior de la zona deformada plásticamente y la matriz del material compuesto original. (HV 0.025) En la probeta con de 6061 / B₂Ti / 15 no hay certeza estadística para señalar endurecimiento.

La elevada dureza de la CMM puede deberse a una combinación de: partículas de Fe_yAl_x y de óxidos de Fe y Al, formadas durante el desgaste⁽¹⁰⁾ y la mayor proporción de refuerzos debido a su fragmentación.

Es destacable que alcanzando una dureza igual o superior a la contraparte reduce en dos órdenes el desgaste.

La CMM se diferencia nítidamente del material de la matriz de 6061, de la capa deformada plásticamente, por un cambio en la coloración y por un cambio abrupto en la microdureza de la CMM respecto a la matriz.

A pesar de que se observaron fisuras en la interfase entre la CMM la CDP, en todas las probetas de materiales compuestos, la adherencia de la CMM fue suficiente para resistir el manipuleo para el seccionamiento y pulido necesario para su inspección al microscopio.

La capa deformada plásticamente está presente en todas las probetas ensayadas, en materiales reforzados y sin reforzar.

El límite de la capa deformada no es muy nítido y fue estimado con el desplazamiento de los refuerzos, en el caso del material sin reforzar se determinó por la

curvatura de ramas dendríticas. En los materiales compuestos la zona deformada se introduce por lo menos hasta 0,15 mm desde la superficie de desgaste, esto representa entre un 10 y 20-% del acortamiento de las probetas por el desgaste.

La deformación en la subsuperficie produjo el endurecimiento de la matriz de aluminio, de 14 HV en promedio para la probeta sin reforzar y de 20 a 60 HV para las probetas reforzadas. Independientemente de las condiciones de los ensayos, la magnitud del endurecimiento provocado por el desgaste observado en las probetas ensayadas es ligeramente inferior al reportado por otros autores^(9, 11, 12).

Venkataraman y Sundararajan⁽⁸⁾, informaron que en la región deformada plásticamente, de aluminio reforzado con SiC, encontraron una región más blanda, ubicada inmediatamente debajo de la CMM. En las probetas ensayadas no se detectaron zonas que hayan manifestado ese ablandamiento.

V. CONCLUSIONES

Las condiciones de ensayo utilizadas y el par interactuante permitieron que se formara una Capa de material Mezclado Mecánicamente, el cual confirió una mayor resistencia al desgaste de los materiales compuestos, independientemente del tipo y composición del refuerzo.

No se encontró CMM en la probeta de material monolítico.

Los materiales compuestos sufrieron considerable deformación plástica en la subsuperficie. En la cual se encontró endurecimiento por trabajado.

El desgaste no solamente afecta a la superficie, sino que induce cambios subsuperficiales importantes y nada despreciables.

VI. REFERENCIAS

1 -Kevorkijan, V. JOM, **55** (2), 32-34 (2003).

2.-Aluminium Metal Matrix Composite Technology Roadmap, May 2002 – TR Co., ALMMC and US Department of Energy, Michigan, USA

3.-Rigney, D.A.; Chen, L.H.; Naylor, G.S.; Rosenfield, A.R. Wear, **100**, 195-219 (1984).

4.-Alpas, A.T.; Hu, H.; Zhang, J. Wear, **162-164**, 188-195 (1993).

5.-Subramanian, C. -Scr. Metall. Mat., **25**, 1369-1374 (1991)

6.- Alpas, A.T.; Zhang, J. -Met. Mat. Trans. A, **25**, 969-983 (1994).

7.-Wilson, A.; Alpas, A.T. -Wear, **196**, 270-278 (1996).

8.-Venkataraman, B.; Sundararajan, G. Acta Materialia, **44** (2), 461-473 (1996).

9.-How, H.C.; Baker, T.N. Wear, **232**, 106-115 (1999).

10.-Antoniou, R.A.; Brown, L.J.; Cashion, J.D. -Acta. Metall Mater., **42** (10), 3545-3553 (1994).

11.-Zhang, J.; Alpas, A.T. -Mat. Sci. Eng. A, **160**, 25-35 (1993)

12.-Modi, O.P.; Prasad, B.K.; Yegneswaran, A.H.; Vaidya, M.L. -Mat. Sci. Eng A, **151**, 235-245 (1992)