

Tesista: Mayra Lagarde

Título al que aspira: Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales, UNMdP

Tema: "Tribología de UHMWPE modificado superficialmente por irradiación con iones"

Directora de tesis: Dra. Laura A. Fasce

Co-director: Dr. Ricardo C. Dommarco

Lugar de Trabajo: Facultad de Ingeniería, UNMdP

Fecha de Defensa: 28 de diciembre de 2022

Jurados:

Dr. Walter Roberto TURCKAT (IFISUR, UNS-CONICET)

Dra. Celina Raquel Bernal (ITPN, UBA – CONICET)

Dra. Silvia Marcela Cere (CDS, UNMdP)

Resumen

El polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE) es el biomaterial de uso médico empleado por excelencia en componentes para el reemplazo de articulaciones de cadera y rodilla. Sin embargo, la durabilidad de estos componentes puede comprometer la funcionalidad de la prótesis a mediano y largo plazo. Esto se debe a que el desgaste del UHMWPE, producido con la contraparte metálica de la prótesis, provoca el desprendimiento de partículas de tamaño sub-micrométrico del polímero. A dicha escala el material deja de ser biocompatible y provoca una respuesta adversa del sistema inmunológico, que conlleva al fracaso final de la prótesis. Por lo tanto, existe un profundo interés en el área de biomateriales en el desarrollo de técnicas de modificación que permitan mejorar el comportamiento al desgaste del UHMWPE. Una técnica efectiva y popularizada es la modificación del material mediante irradiación con rayos gamma seguida de un tratamiento térmico por encima de la temperatura de fusión del polímero. Esta técnica, modifica globalmente todo el volumen de material, promueve el entrecruzamiento de las cadenas de UHMWPE, y conduce una disminución efectiva en la tasa de desgaste. Sin embargo, el entrecruzamiento deteriora otras propiedades mecánicas importantes como la tenacidad a la fractura y la resistencia a la fatiga, las cuales se reconocen actualmente como las causantes de falla de las prótesis a largos tiempos. Las técnicas de irradiación superficial como la implantación iónica, la implantación asistida por plasma y la irradiación con iones pesados, surgen como alternativas atractivas, puesto que permiten modificar el UHMWPE solo a nivel de las capas superficiales. Es decir, el uso de estas técnicas no altera las excelentes propiedades globales del UHMWPE. Entre estas técnicas, la irradiación con iones pesados (SHI) ha sido muy poco explorada, pero los resultados incipientes son alentadores y fue la técnica elegida en el desarrollo de esta tesis. En este contexto, en el trabajo de tesis se compara el desempeño de un UHMWPE comercial con el que resulta de modificarlo por la técnica convencional (irradiación gamma seguida de tratamiento térmico), y con el que surge luego de irradiarlo superficialmente con iones pesados.

Esta tesis tiene como objetivo general, incrementar el conocimiento sobre el efecto que genera la aplicación de distintas técnicas de modificación en el comportamiento al desgaste de un UHMWPE comercial utilizado en prótesis de reemplazo de cadera y rodilla.

Específicamente, se propone caracterizar el efecto que la irradiación con SHI tiene en el comportamiento al desgaste, en la estructura supramolecular y en las propiedades mecánicas a nivel de la superficie de este biomaterial. Por otro lado, se propone comparar las propiedades del material luego de la modificación superficial con las de la modificación convencional.

Las irradiaciones fueron llevadas a cabo en la CNEA en muestras de UHMWPE previamente acondicionadas para tales modificaciones y de acuerdo a los requerimientos de los ensayos de caracterización. Para la irradiación con SHI se eligieron dos tipos de iones (nitrógeno y litio) y distintos niveles energía. Para la irradiación con rayos gamma se empleó la dosis óptima recomendada en bibliografía.

El grado de cristalinidad de las muestras se estudió mediante técnicas de Calorimetría Diferencial Dinámica (DSC), Difracción de Rayos X y Espectroscopía Raman. Las propiedades mecánicas a nivel de la superficie se determinaron a través de ensayos de indentación instrumentada. El comportamiento al desgaste se estudió en dos escalas. Se realizaron ensayos de nano-desgaste en un Triboindentador empleando una punta de diamante. Este ensayo idealizado permitió estudiar el efecto de una sola aspereza que se desplaza por la superficie de la muestra siguiendo una historia programada. El comportamiento al desgaste en condiciones más semejantes al del material en servicio se caracterizó por ensayos de pin-on-disk. Las condiciones experimentales del ensayo pin-on-disk fueron puestas a punto de manera de respetar la exigencia de la norma ASTM F732 para el ensayo de materiales candidatos para reemplazo de cadera y poder evaluar el comportamiento de las distintas muestras. Los ensayos se realizaron con rotación bidireccional del pin (construido en polímero) sobre un disco metálico (acero inoxidable) en condiciones de lubricación empleando un simulador del líquido sinovial.

Se encontró que las muestras irradiadas con rayos gamma tratadas térmicamente presentaron un grado menor de cristalinidad que el material original, debido a que el proceso de recristalización durante el tratamiento térmico fue inhibido por entrecruzamientos de cadena. En consecuencia, estas muestras mostraron una disminución en la dureza (parámetro asociado a la tensión de fluencia del material) y en el módulo elástico de indentación reducido (relacionado directamente con el módulo de Young o rigidez del material).

Por otra parte, las muestras irradiadas con SHI, independientemente del tipo de ion empleado, presentaron un aumento en el grado de cristalinidad, la dureza y el módulo elástico con respecto al material original. Se comprobó que el cambio en las propiedades está confinado a la profundidad del alcance de la trayectoria de los iones en la materia. Es decir, los cambios físico-químicos ocurrieron muy a nivel de la superficie. Además, no se originó un gradiente de propiedades sino que las mismas resultaron constantes en toda la zona afectada.

Se encontraron diferencias importantes en las propiedades mecánicas y en el comportamiento en general de las muestras irradiadas con iones litio y nitrógeno, que aparentan estar influenciadas por el nivel de energía involucrado en cada caso.

Los resultados del nanodesgaste mostraron que las dos técnicas retrasan la aparición del daño en el material. En las muestras irradiadas con SHI el daño aparece después que en las modificadas tradicionalmente. Los resultados de los ensayos de pin-on-disk demostraron que, si bien las diferencias inducidas por las dos técnicas de irradiación son muy diferentes, ambas logran mejorar la resistencia al desgaste del UHMWPE.

Para las muestras modificadas por SHI, la condición de irradiación empleada para el ion nitrógeno fue la más favorable. El cambio en las propiedades mecánicas a nivel superficial para esta condición mejoró la relación entre el módulo y la dureza de las capas superficiales, aumentando la resistencia a la deformación permanente.