



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2014 / 2015

*CARACTERIZACIÓN DEL DESGASTE DE ELECTRODOS DE
GRAFITO EN ELECTREROSIÓN POR PENETRACIÓN*

DOCUMENTO 2: RESUMEN

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO

NOMBRE: IGNACIO

APELLIDOS: MARGÜELLO JUARISTI

FDO.:

FECHA:10/09/2015

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA

NOMBRE: BORJA

APELLIDOS: IZQUIERDO ARAMBURU

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:10/09/2015

INDICE

2.1. OBJETO	2
2.2 ANTECEDENTES	2
2.3 METODOLOGÍA.....	3
2.3.1 ENSAYOS CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°	5
2.3.2 ENSAYOS CON ELECTRODOS PARA BLISK	5
2.4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES	6
2.4.1 ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°.....	7
2.4.2 ELECTRODOS PARA BLISK	7
2.5 LÍNEAS FUTURAS Y PROPUESTA TÉCNICA.....	8

2.1. OBJETO

El objeto del presente trabajo, titulado “*Caracterización del desgaste de electrodos de grafito en electroerosión por penetración*”, es el diseño de una **metodología de medición sistemática y fiable de del desgaste de electrodos** de grafito en electroerosión por penetración, así como el estudio de la influencia de la geometría de los electrodos en el desgaste de los mismos. También se pretende definir una **metodología que permita medir la distancia entre electrodo y pieza (conocida como gap de erosión)**. El diseño de una metodología precisa de medición permitirá un correcto estudio del desgaste de los electrodos. A su vez nos permitirá conocer la evolución del desgaste de los electrodos para diversas geometrías y distintas profundidades de erosión, pudiendo de tal manera optimizar el empleo de los electrodos pudiendo alargar su vida útil y la erosión de cavidades con una mayor precisión geométrica que la que se dispone en la actualidad.

Se pretende, en definitiva, desarrollar un procedimiento de medición de desgaste de electrodos, así como del *gap* de erosión que permita **conocer el desajuste entre la geometría inicial del electrodo y la forma final de la cavidad finalmente erosionada**. Como se ha mencionada, esta diferencia se deberá a la suma de dos factores: el desgaste del electrodo durante el proceso y la distancia entre electrodo y pieza en las distintas zonas en las que se producen las descargas. Este trabajo constituye el **primer paso en el desarrollo de un modelo de desgaste y predicción de forma final de la pieza** para operaciones de electroerosión por penetración de geometrías complejas.

2.2 ANTECEDENTES

El proyecto se realizará en el taller mecánico del Departamento de Ingeniería Mecánica de la UPV/EHU, en el que se integra el Grupo de Fabricación de Alto Rendimiento. El taller mecánico dispone de una sala de metrología con herramientas de alta precisión para la medición de los resultados de los ensayos.

El proyecto forma parte de una Tesis Doctoral de duración aproximada de 3 a 4 años en el ámbito de la Electroerosión. Este trabajo pretende responder a intereses industriales de la empresa ONA Electroerosión, y cuenta además con financiación obtenida en Proyectos de Convocatoria Pública Competitiva.

El estudio se enmarca dentro de la electroerosión por penetración, que se trata de un proceso no convencional de mecanizado basado en la generación de descargas eléctricas controladas entre dos elementos conductores en presencia de un líquido denominado fluido dieléctrico. Uno de los elementos constituye el útil de arranque, conocido genéricamente como electrodo, el otro elemento es la pieza, o material a conformar, siendo ambos necesariamente conductores de electricidad.

En relación con el presente estudio, el desgaste de los electrodos y la influencia de la geometría de los mismos en el proceso del desgaste distan de ser conocidos. Teniendo en cuenta que la geometría final de las cavidades dependerá directamente de la geometría final del electrodo, el correcto conocimiento del desgaste nos proporcionará a su vez un conocimiento exacto de las cavidades generadas.

De la misma manera, la geometría final de la cavidad estará directamente relacionada con la dimensión del gap a lo largo del perfil del electrodo. Actualmente la dimensión del gap es considerada como constante a lo largo del perfil del electrodo y variable en función de la tecnología empleada para la erosión.

La tendencia actual en cuanto al estudio del desgaste de los electrodos y las cavidades generadas tras su erosión se fundamenta en el estudio de la evolución del desgaste de los electrodos para una batería de ensayos, tras lo cual, y tomando el gap como constante a lo largo de todo el perfil del electrodo, la cavidad final sería fácilmente estudiada realizando un offset del electrodo a una distancia igual al gap. Sin embargo, dicha premisa es puesta en duda en bibliografía consultada, y una distribución del *gap* variable tendría un efecto directo sobre la diferencia entre forma de electrodo y de cavidad.

Una de las mayores dificultades que han tenido que afrontar los investigadores en el estudio del desgaste de electrodos en electroerosión por penetración, ha sido la del diseño de una metodología de medición fiable. Dicha dificultad queda plasmada en los estudios realizados a lo largo de los años pudiendo encontrar constantes evoluciones y cambios en metodologías previas sin llegar a obtener una metodología definitiva para la medición del desgaste e interpretación de los factores que afectan a las erosiones.

2.3 METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta la dificultad inherente a la medición del desgaste de los electrodos debida a diversos factores entre los que se encuentran la dificultad en la medición de dicho desgaste de forma sistemática y fiable, y la precisión de dichas mediciones debidas a la consecución del arrastre de errores debidos a protocolos de medición ineficientes.

Uno de los objetos de éste estudio ha sido el de diseñar una metodología de realización de ensayos, mediciones e interpretación de resultados, formada por la consecución de diversos protocolos tanto de fabricación de electrodos, medición de electrodos, erosión de cavidades y medición de cavidades para posteriormente poder interpretar los resultados obtenidos pudiendo garantizar la fiabilidad de las mediciones realizadas, lo que influirá directamente en la precisión de los resultados obtenidos.

La metodología a seguir puede dividirse a grandes rasgos en: fabricación de electrodos, medición de electrodos nuevos, realización de erosión, medición de electrodos usados, medición de cavidades, y análisis de las mediciones *Fig. 1*.

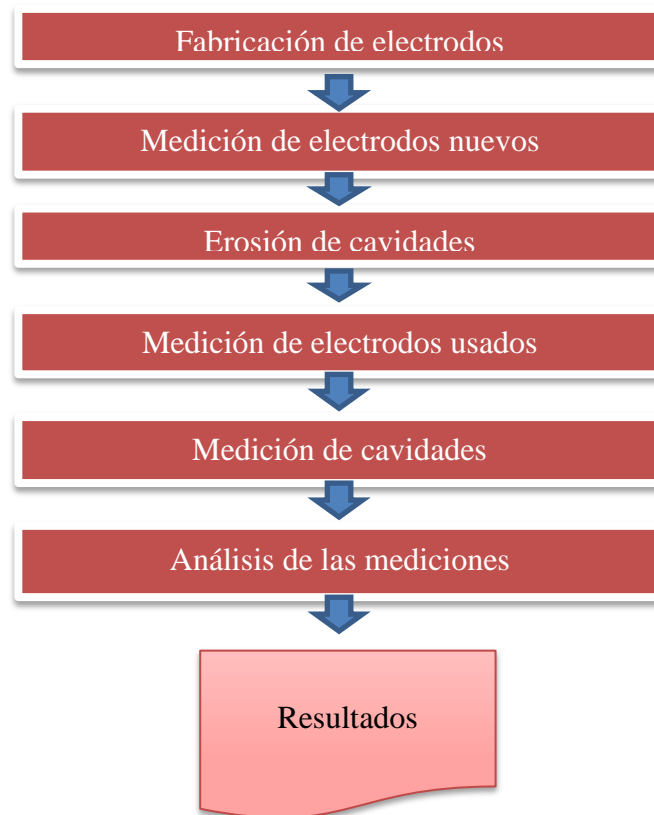


Fig. 1 Diagrama generalizado sobre la metodología de realización de los ensayos

Cada una de las partes de las que está constituida la metodología de realización de los ensayos y análisis de resultados constará de uno o varios protocolos, detallando exhaustivamente los pasos a seguir para la consecución de los ensayos.

El correcto diseño de la metodología de medición e interpretación de resultados, facilita el estudio del desgaste de los electrodos así como la medición y estudio del gap a lo largo del perfil del electrodo, siendo ambos factores de gran interés científico y necesarios para una evolución del proceso de mecanizado de materiales mediante electroerosión por penetración.

Las baterías de ensayos se dividen en dos grandes grupos, quedando definidas por las geometrías de electrodo a emplear para las pruebas. Siendo el material empleado para ambas geometrías de electrodos grafito POCO EDM200 el cual se caracteriza por su pequeño tamaño de grano y su alta implantación en la industria aeroespacial para el mecanizado de cavidades.

2.3.1 ENSAYOS CON ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°

Los electrodos con forma de cuña a 60° fueron fabricados en la máquina de corte por hilo ONA NX3.

Para la medición de dichos electrodos antes de la erosión se empleó el perfilómetro confocal Leica DCM3D empleando la estrategia de medición denominada topografía, mediante la cual se obtienen mediciones en 3D del electrodo. Mediante el procesado posterior de dichas mediciones se obtuvieron perfiles característicos correspondientes a tres secciones características del electrodo y se midieron los radios de punta de dichas secciones.

Se realizaron erosiones a diversas profundidades (*0.5mm, 1mm, 2mm y 4 mm*) en acero F-114 empleando un VDI 38 como tecnología de erosión, y posteriormente se midieron nuevamente en el perfilómetro Leica DCM 3D, obteniendo de tal manera mediciones de las mismas secciones medidas previamente en los electrodos nuevos, pudiendo de tal manera comparar las mediciones de los electrodos nuevos con los electrodos tras la erosión, y consecuentemente analizar el desgaste producido en los mismos, así como la evolución del radio de la punta de los electrodos para diversas profundidades de erosión.

El análisis de las cavidades se realizó rebanándolas por tres secciones características, correspondientes a las secciones de electrodo medidas previamente. Se obtuvieron microfotografías de dichas rebanadas y posteriormente se interpretaron los perfiles de las cavidades empleando el software Siemens NX.

A su vez, la interpretación del gap se realizó superponiendo el perfil central de cada erosión con el perfil correspondiente al electrodo gastado y siguiendo el protocolo de análisis del gap diseñado, se obtuvieron las dimensiones del gap a lo largo del perfil del electrodo.

2.3.2 ENSAYOS CON ELECTRODOS PARA BLISK

Los electrodos empleados para la fabricación de Blisk fueron cortados en la máquina de corte por hilo ONA PRIMA E250.

La medición de los electrodos nuevos se realizó empleando el medidor por coordenadas Zeiss MC-850 mediante el cual se obtuvieron mediciones de tres secciones de cada uno de los electrodos, situadas dichas secciones a (*-3.55mm, -2.35mm, -1.15mm*) respecto del plano superior del electrodo tal y como se muestra en la *Fig. 2*. Obteniendo a su vez representaciones gráficas de las desviaciones correspondientes a cada medición para la corroboración de las mediciones.

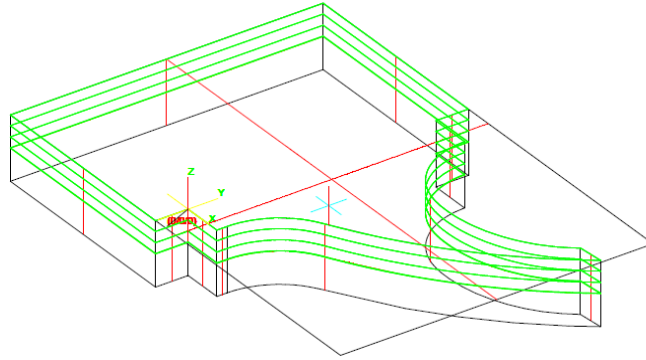


Fig. 2. Representación del electrodo, la disposición del origen de coordenadas y las secciones a medir (verde)

Se diseñaron 4 estrategias de erosión denominadas (Step1, Step2, Step3, Step4), quedando relacionadas entre ellas por el volumen de material erosionado. Realizando cada una de las estrategias de erosión para distintas tecnologías (VDI28, VDI32, VDI36, VDI39) teniendo finalmente 16 electrodos a analizar, y 16 cavidades consecuentemente.

Una vez finalizadas las erosiones, los electrodos fueron medidos empleando un medidor por coordenadas Zeiss MC-850, siendo las secciones a medir las mismas que se midieron para los electrodos nuevos, pudiendo de tal manera posteriormente interpretar el desgaste del electrodo.

La interpretación del desgaste del electrodo se realizó empleando el Software Siemens NX pudiendo interpretar mediante su empleo las mediciones realizadas mediante el medidor por coordenadas de los electrodos antes y después de la erosión. El desgaste de los electrodos fue medido analizando el área desgastada de cada una de las secciones representativas, mediante la superposición de cada uno de los perfiles del electrodo antes de la erosión con el mismo perfil tras la erosión.

Las cavidades fueron analizadas empleando el software Leicascan. Finalmente superponiendo dichas mediciones con el perfil de electrodo gastado y siguiendo el protocolo de análisis de las mediciones detallado en el apartado correspondiente al marco metodológico, se analizó el gap a lo largo del perfil del electrodo.

2.4 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Tras el análisis de las mediciones realizadas en los electrodos antes y después de la erosión, como el análisis del gap a lo largo del electrodo, los cuales se presentan en los ANEXOS del presente estudio, se pueden inferir las siguientes conclusiones:

2.4.1 ELECTRODOS CON FORMA DE CUÑA A 60°

- En lo que respecta al desgaste de los electrodos, se puede concluir que en las primeras etapas de la erosión, el desgaste sufrido por el electrodo se centra casi exclusivamente en la punta. A su vez se observa una clara tendencia a la estabilización de dicho desgaste de punta a medida que la erosión avanza en profundidad, hasta el punto que finalmente el desgaste de la punta del electrodo se puede equiparar al sufrido en las caras que forman la geometría del mismo.
- En lo que respecta al radio de punta del electrodo, se puede concluir que dicho radio de punta aumenta a medida que avanza la erosión, llegando a un punto en el que dicho aumento del radio de punta tiende a estabilizarse.
- En lo que respecta al fenómeno de recrecido y en relación con el punto anterior, se puede observar una relación entre la desaparición del fenómeno del recrecido a medida que el radio de punta aumenta, pudiendo concluir que a partir de un cierto valor del radio de punta el fenómeno del recrecido desaparece.
- En lo que respecta a la dimensión del gap a lo del perfil del electrodo, se puede concluir que el gap no es constante a lo largo del perfil. Se puede afirmar que la dimensión del gap disminuye a medida que aumenta la profundidad de la erosión. De la misma manera, se puede concluir que dicha tendencia a la disminución del gap a medida que aumenta la profundidad de erosión tiende a estabilizarse a medida que se alcanza la profundidad de erosión de 4mm.

2.4.2 ELECTRODOS PARA BLISK

- En lo que respecta a la optimización del proceso de erosión de cavidades mediante electroerosión por penetración se puede concluir que el empleo de tecnologías más erosivas garantiza un tiempo de erosión mucho menor que el empleo de tecnologías de erosión más conservadoras.
- En relación con el punto anterior, y pese a que el empleo de tecnologías de erosión menos erosivas implica teóricamente un desgaste de electrodo por unidad de tiempo menor, podemos concluir que el desgaste de electrodo por unidad de tiempo se ve optimizado en gran medida mediante el empleo de tecnologías de erosión muy erosivas tales como (VDI 39 , VDI 36) lo que a su vez implicaría directamente el empleo de un menor número de electrodos para realizar una erosión con unas dimensiones requeridas, pudiendo abaratar los altos costos de fabricación de electrodos.

- La aleatoriedad del recrecido en la punta del electrodo incide directamente en las cavidades finales obtenidas e impide una modelización y conocimiento exacto de la evolución del mismo en función de la profundidad de erosión.
- En lo que respecta a la dimensión del gap, se puede concluir que una existe una tendencia al incremento de la dimensión del gap a medida que se emplean tecnologías de erosión más erosivas. A su vez los valores reales del gap se ciñen de manera muy exacta a los valores delimitados por la rugosidad teórica para tecnologías de erosión menos erosivas.
- En lo que respecta a la desviación de las dimensiones del gap tomando como límite la rugosidad teórica, se puede observar que dichas desviaciones se dan principalmente en aquellos programas de erosión en los que en última instancia la superficie de electrodo en la cual se produce la descarga es menor. A su vez y tomando como ejemplo los programas de erosión *Step 4* en los que en última instancia la superficie de electrodo en la cual se produce la descarga es mayor, se puede observar que los valores del gap no se desvían de los valores teóricos en función de la rugosidad teórica.

Es por ello que se puede concluir que a dimensión del gap además de depender de la tecnología de erosión empleada, a su vez se ha de tener en cuenta la superficie de electrodo en la cual en última instancia se produce la descarga.

2.5 LÍNEAS FUTURAS Y PROPUESTA TÉCNICA

A la vista de los resultados y conclusiones presentados en apartado “3.7 Resultados y conclusiones” en los que se ha demostrado la no constancia del gap para todas las erosiones. Así como la tendencia a la desaparición del recrecido a partir de un cierto valor del radio de punta de los electrodos. Así como el comportamiento de los electrodos frente al desgaste en función de distintas tecnologías de erosión, se puede profundizar el trabajo de la siguiente forma:

Teniendo en cuenta que se ha diseñado una metodología de medición fiable tanto del desgaste de electrodos como del gap a lo largo del perfil de los mismos.

Puesto que se ha demostrado que el valor del gap a lo largo del perfil del electrodo para erosiones con electrodos con forma de cuña a 60° no es constante en erosiones menores de 4mm, deberán realizarse ensayos con electrodos de diversas geometrías para verificar que lo demostrado para los electrodos con forma de cuña se cumple para otras geometrías de electrodos distintas. A su vez, se deberá comprobar el valor límite del radio de punta de los electrodos para el cual el recrecido desaparece completamente.

En definitiva, la principal línea futura a desarrollar consistirá en maximizar el conocimiento tanto del desgaste de los electrodos como de las geometrías mediante las cuales se garantice la desaparición del recocado en la punta de los electrodos, así como el conocimiento del valor real del gap en todo el perfil de los electrodos. Dicho conocimiento permitirá en un futuro modelizar el desgaste de electrodos, permitiendo de tal manera diseñar electrodos con una geometría tal que se garantice una cavidad final de las dimensiones requeridas empleando un único electrodo.

Todo el trabajo que se recoge en este estudio junto con la ejecución de las líneas futuras aquí expuestas, puede dar lugar a una propuesta técnica mediante la cual se podrá en un futuro modelizar el desgaste de electrodos, permitiendo de tal manera diseñar electrodos con una geometría tal que se garantice una cavidad final de las dimensiones requeridas empleando un único electrodo. El modelizado del desgaste de electrodos supondrá una gran optimización del proceso de electroerosión por penetración, incidiendo directamente en un gran ahorro económico en aquellas industrias en las que la electroerosión por penetración es empleada y pudiendo ampliar el uso de dicho proceso de mecanizado a nuevas industrias y aplicaciones.

