



CONGRESO  
INTERNACIONAL  
DE INVESTIGACIÓN  
E INNOVACIÓN  
DOS MIL DIECISEIS



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

## INFLUENCIA DE LA RUGOSIDAD EN LA APARICIÓN DE DESGASTE ADHESIVO SEVERO (GALLING) EN ELEMENTOS METÁLICOS.

Daniel Antonio Aguirre – Licenciatura – [ingantoni32@gmail.com](mailto:ingantoni32@gmail.com)

Manuel Vite Torres – Doctorado – [drmanuelvite9@hotmail.com](mailto:drmanuelvite9@hotmail.com)

Ezequiel A. Gallardo Hernández – Doctorado – [e.a.gallardo@hotmail.com](mailto:e.a.gallardo@hotmail.com)

Instituto Politécnico Nacional  
Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Zacatenco  
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación  
Grupo de Tribología

### RESUMEN

El desgaste adhesivo severo (Galling) es un tipo de desgaste adhesivo presente en elementos sometidos a altas presiones de contacto y movimientos deslizantes secos, así como en ambientes libres de elementos oxidantes. En este estudio se realiza una comparación del daño producido por el fenómeno de desgaste adhesivo severo (Galling) a probetas de acero inoxidable AISI 304 con 2 diferentes condiciones de rugosidad. Se seleccionó para la primera condición una rugosidad de  $1 \mu\text{m}$ , mientras que para la segunda se seleccionó una de  $0.1 \mu\text{m}$ . El estudio se basó en la norma ASTM G98-02 para la generación del desgaste adhesivo severo (Galling). Se compararon los umbrales de desgaste adhesivo en cada uno de las rugosidades.

### ABSTRACT

Galling is a severe type of adhesive wear that occurs on high contact pressures elements and dry sliding movements, it also occurs at free oxidizing elements environments. In this study, a comparison of the damage caused by Galling on AISI 304 stainless steel specimens with 2 different conditions of roughness is performed. These roughness conditions were  $1 \mu\text{m}$  and  $0.1 \mu\text{m}$ . The study was based on the ASTM G98-02 standard for the generation Galling. Threshold Galling Stresses on each of the roughness conditions were compared.

**Palabras Clave:** Tribología, Desgaste, Galling, Rugosidad



CONGRESO  
INTERNACIONAL  
DE INVESTIGACIÓN  
E INNOVACIÓN  
DOS MIL DIECISEIS



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de desgaste que se presenta en los algunos elementos mecánicos que forman parte de maquinaria industrial, es un tipo de desgaste adhesivo conocido comúnmente como “Galling”, el cual se presenta debido a las elevadas presiones superficiales y movimientos deslizantes ausentes de lubricación. Este fenómeno se caracteriza principalmente por presentar transferencia de material entre los elementos interactuantes, es decir, se genera una pérdida de material en uno, mientras que en el opuesto se presenta una ganancia de material sobre su superficie. Este tipo de desgaste puede resultar catastrófico si no se considera adecuadamente los materiales y diferentes condiciones para los elementos de máquinas durante la etapa de diseño. Adicionalmente se puede presentar en procesos de conformado de lámina metálica como el troquelado, prensado, cizallado, doblado, estampado, perforado y rolado; afectando severamente la forma de la herramientas empleadas debido a la acumulación paulatina de material transferido de las placas durante el proceso, lo que ocasiona elevados coeficientes de fricción durante el proceso y adicionalmente los productos manufacturados presentan rayados e imperfecciones en su superficie [1] [2].

Algunas de las soluciones existentes para prevenir este tipo de desgaste se enfocan principalmente en el mejoramiento de la resistencia del desgaste adhesivo severo (Galling) mediante la modificación de las superficies de los elementos en contacto; esto incluye el empleo de nuevos materiales, la aplicación de recubrimientos y tratamientos superficiales y el mejoramiento de acabados superficiales y rugosidades en las superficies interactuantes.

El desgaste adhesivo severo (Galling), como la gran mayoría de los fenómenos tribológicos, es un fenómeno estocástico, debido a que múltiples factores influyen en su aparición. Dentro de estos factores se encuentra la rugosidad de los materiales interactuantes, la cual es posible que perjudique o beneficie su resistencia al desgaste adhesivo severo (Galling).

La norma ASTM G98-02 hace referencia al método de prueba para el análisis de la resistencia al desgaste adhesivo severo (Galling) en duplas de materiales. Este



## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

método es uno de los más empleados para dicho análisis. El método utiliza la configuración Botón sobre Bloque, en la cual, los dos elementos se someten a una fuerza constante de compresión entre ellos y se hacen girar colinealmente el elemento botón, mientras que el otro se mantiene completamente estático [3]. Esta norma presenta como requerimiento de rugosidad de las probetas empleadas un umbral relativamente amplio de 0.25 a 1.1  $\mu\text{m}$ .

El objetivo del estudio es investigar, identificar y comparar la forma en la que el desgaste adhesivo severo (Galling) es influenciado por la rugosidad de los elementos interactuantes para la aparición de este fenómeno bajo condiciones de carga y velocidad constantes. Para esto se empleó acero inoxidable AISI 304 como material de prueba, se seleccionaron dos diferentes rugosidades de entre el umbral considerado en la norma ASTM G98-02 y se sometieron dichas probetas al método de prueba especificado en la misma.

## METODOLOGÍA

### Material

Para los especímenes tipo botón se usaron barras de acero inoxidable AISI 304 con diámetro de 15.9 mm (5/8 plg) y se seccionaron en tramos de 31.75 mm (1 1/4 plg) de largo. Se maquinaron hasta lograr una sección de 12.7 mm (1/2 plg) de diámetro y 18.4 mm (3/8 plg) de largo en uno de sus extremos, tal y como lo marca la norma. Para los especímenes tipo bloque se emplearon 2 soleras del mismo material de 38.1 mm (1 1/2 plg) de ancho por 101.6 mm de largo (4 plg) y 3.2 mm (1/8 plg) de espesor. *Figura 1*. Se pulieron las superficies de contacto hasta una rugosidad de 1  $\mu\text{m}$  para diez probetas tipo botón y una probeta tipo bloque y 0.1  $\mu\text{m}$  para diez tipo botón y una tipo bloque.

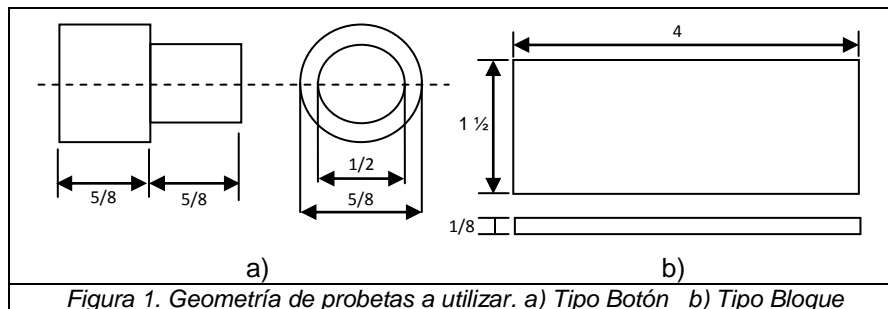


Figura 1. Geometría de probetas a utilizar. a) Tipo Botón b) Tipo Bloque

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Método Experimental

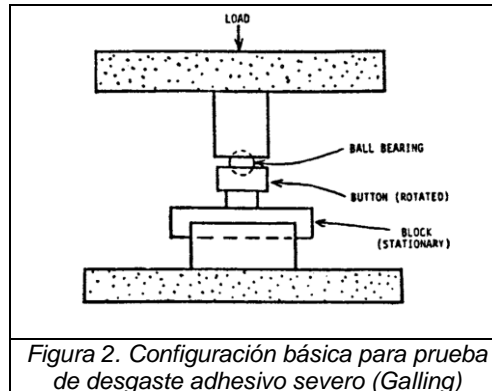


Figura 2. Configuración básica para prueba de desgaste adhesivo severo (Galling)

Todos los especímenes se lavaron en tina ultrasónica con acetona y etanol previo a la prueba. La configuración de la prueba de desgaste adhesivo severo (Galling) propuesta en la norma ASTM G98-02 se muestra esquemáticamente en la *Figura 2*. Se requiere de un equipo de laboratorio capaz de generar una fuerza constante

de compresión entre los dos especímenes. Dicha prueba se realizó en una maquina tribológica para análisis de desgaste adhesivo para configuración Copa cono (*Figura 3*) propuesta por A. Ertas y H. J. Carper en 1992 [4]. Se aplicó inicialmente una carga de 100 Kg entre un espécimen tipo Botón y uno tipo Bloque con rugosidad de 1  $\mu\text{m}$ . El espécimen tipo botón se gira lentamente una vuelta relativamente con el tipo bloque a una velocidad de 0.3 rpm para posteriormente retirar la carga aplicada. Por último se procede a inspeccionar las superficies en contacto en busca de daño superficial. Si el daño observado es por transferencia de material se disminuye la carga hasta no obtener daño superficial por transferencia de material. El daño de todas las probetas se clasifico conforme los siguientes tipos de daño:



Figura 3. Máquina tribológica para ensayos de desgaste adhesivo para configuración copa cono.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

ABREVIACIÓN	TIPO DE DAÑO
O	Sin Daño
B	Bruñido
S	Embarramiento
G	Galling

Tabla 1. Clasificación del daño en especímenes evaluados por la norma ASTM G98

En la *Tabla 2* y *3* se presentan las cargas aplicadas en cada uno de los especímenes con diferente rugosidad y el esfuerzo superficial generado. Cabe destacar que dichas cargas se consideraron dependiendo de las características del daño obtenidas en cada uno de los especímenes, iniciando con una carga de 100 kg para la prueba inicial y una vez analizado el daño generado se consideraba disminuir o incrementar la carga aplicada para obtener un umbral de esfuerzo de desgaste adhesivo severo (Galling), tal y como lo marca la norma.

Rugosidad = 1 $\mu\text{m}$		
Probeta	Carga (Kg)	Esfuerzo (MPa)
1	100	8
2	50	3.8
3	100	8
4	100	8
5	50	3.8
6	50	3.8
7	25	2
8	187.5	14.5
9	187.5	14.5
10	250	19.5

Tabla 2. Cargas Aplicadas para probetas con rugosidad de 1  $\mu\text{m}$

Rugosidad = 0.1 $\mu\text{m}$		
Probeta	Carga (Kg)	Esfuerzo (MPa)
1	100	8
2	100	8
3	100	8
4	50	3.8
5	130	10
6	130	10
7	25	2
8	25	2
9	187.5	14.5
10	187.5	14.5

Tabla 3. Cargas Aplicadas para probetas con rugosidad de 0.1  $\mu\text{m}$

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

**RESULTADOS**

Rugosidad	Carga (Kg)	Esfuerzo (MPa)	Tipo de Daño
Ra = 1 µm	25	2	Sin Daño
	50	3.8	Bruñido
	100	8	Galling
	187.5	14.5	Galling
	250	19.5	Galling
Ra = 1 µm	25	2	Bruñido
	50	3.8	Galling
	100	8	Galling
	130	10	Galling
	187.5	14.5	Galling

Tabla 4. Resultados de pruebas de desgaste adhesivo severo (Galling)

Los resultados obtenidos de las pruebas en especímenes de acero inoxidable 304 con ambas rugosidades se presentan en la *Tabla 4*, donde se concentran los diferentes daños obtenidos en cada uno de los especímenes ensayados.

En los especímenes con aplicación de carga de 100kg se observa material transferido con desgarramiento de material en las 3 pruebas realizadas (*Figura 4*), por lo que se consideró que 8 MPa es un esfuerzo superficial que produce desgaste adhesivo severo (Galling) en acero inoxidable AISI 304. En los especímenes sometido a 3.8 MPa de esfuerzo se observa poco daño por transferencia de material en una de las 3 probetas (*Figura 5*), debido a esto se considera que a 3.8 MPa de esfuerzo superficial se tiene un bruñido del acero inoxidable 304. Lo anterior estima el umbral de esfuerzo de desgaste adhesivo severo (Galling) para probetas de acero inoxidable 304 con una rugosidad de 1 µm entre 8 y 3.8 MPa

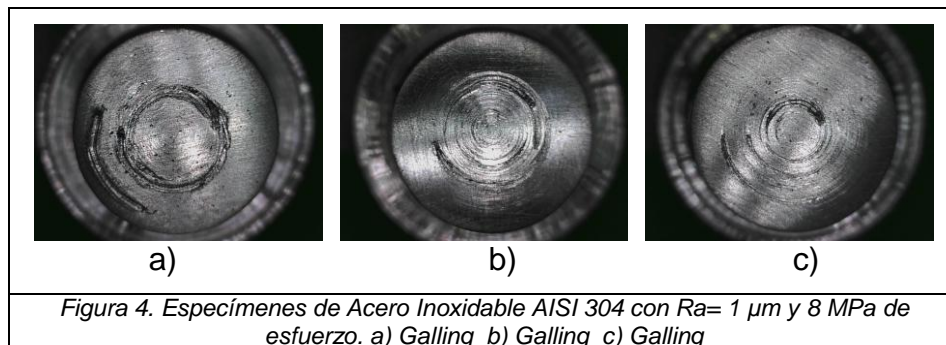


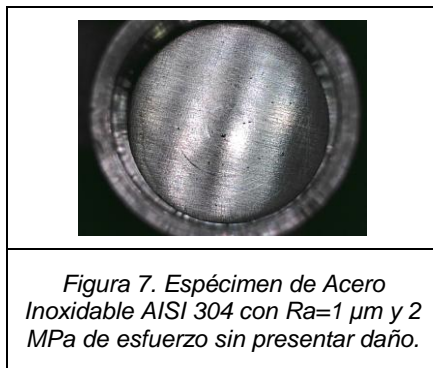
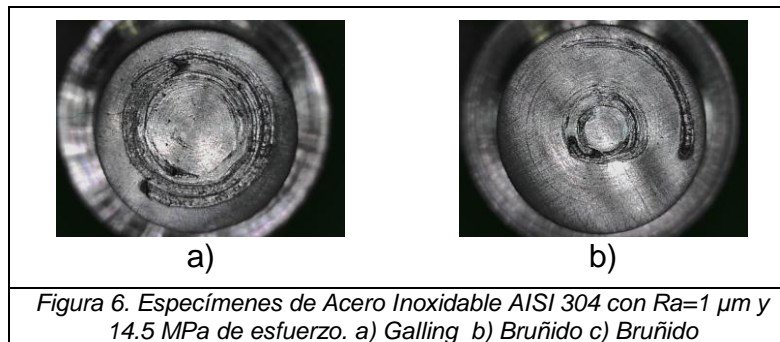
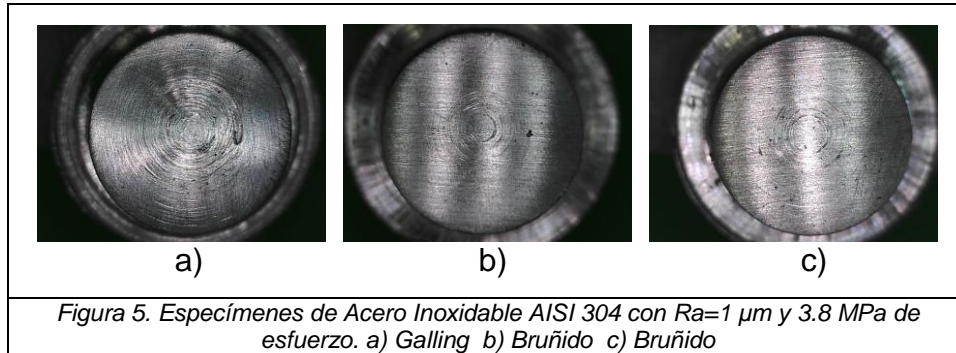
Figura 4. Especímenes de Acero Inoxidable AISI 304 con Ra= 1 µm y 8 MPa de esfuerzo. a) Galling b) Bruñido c) Galling

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635



Finalmente en la *Tabla 4* se presentan los resultados obtenidos de las pruebas a especímenes de acero inoxidable AISI 304 con rugosidad igual a  $0.1 \mu\text{m}$  con la clasificación de daño propuesta. Para los especímenes sometidos a un esfuerzo

## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

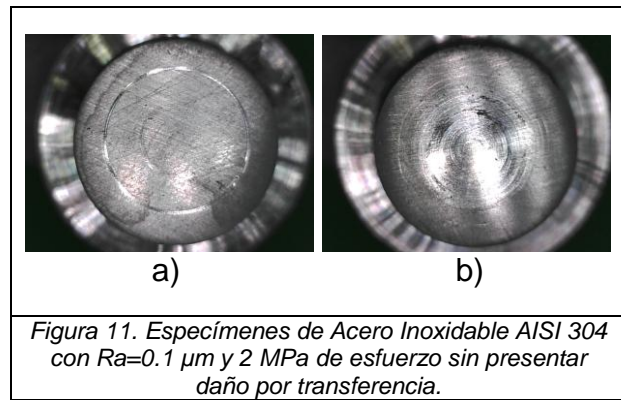
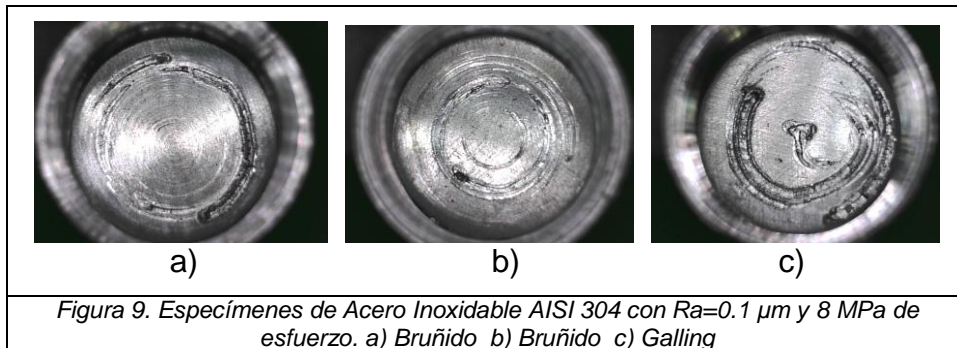
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

de contacto de 8 MPa con la rugosidad definida anteriormente se observa material transferido con desgarramiento de material en solo una de las 3 probetas ensayadas (*Figura 9*), por lo que se consideró que 8 MPa es un esfuerzo superficial que produce Bruñido y rayado en la superficie de dichas probetas. En el espécimen sometido a 3.8 MPa de esfuerzo se observa poco daño por transferencia de material (*Figura 10*), debido a esto se considera que a 3.8 MPa de esfuerzo superficial se presenta Galling en acero inoxidable 304. Posteriormente se realizó el mismo procedimiento con esfuerzo superficial de 2 MPA, en los cuales no presentaron daño por transferencia de material, lo que permite estima el umbral de esfuerzo de desgaste adhesivo severo (Galling) para probetas de acero inoxidable 304 con una rugosidad de  $0.1 \mu\text{m}$  entre 3.8 y 2 MPa.

Adicionalmente se realizaron pruebas a 10 y 14.5 MPa observando que se presenta un claro desgaste adhesivo severo en sus superficies (*Figura 11 y 12*).

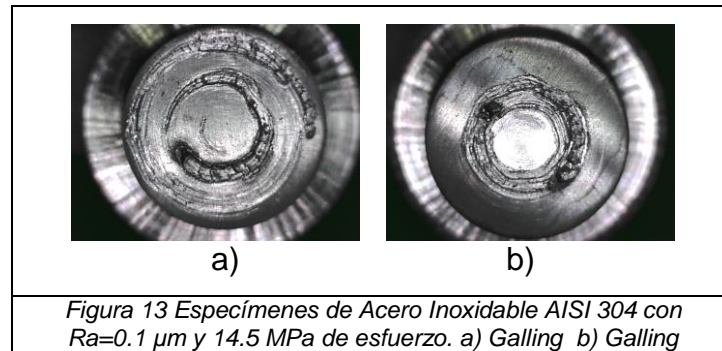
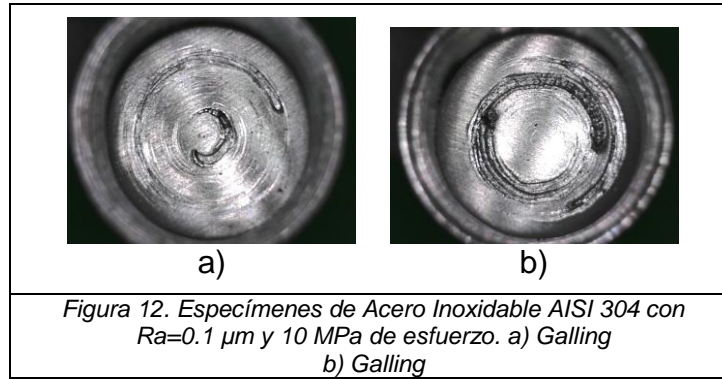




“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”  
Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635





## “CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

### CONCLUSIONES

Al observar los resultados obtenidos en las pruebas de desgaste adhesivo severo (Galling), es posible observar una diferencia en el umbral de esfuerzo de desgaste adhesivo severo entre las probetas con diferentes rugosidades. Por una parte, los elementos con rugosidad igual a  $1 \mu\text{m}$  presentaron un umbral entre los 8 y 3.8 MPa, mientras que los elementos con rugosidad igual a  $0.1 \mu\text{m}$  presentaron una menor resistencia al desgaste adhesivo severo (Galling), donde su umbral se encontró entre los 3.8 y 2 MPa. De lo anterior es posible concluir que la rugosidad es un factor importante en la aparición de desgaste adhesivo severo (Galling), por lo que se recomienda un mejor control de este parámetro a la hora de realizar pruebas de desgaste adhesivo severo (Galling) como lo marca la norma ASTM G98-02. Adicionalmente es necesario que se profundice en la investigación de este tipo de desgaste bajo las mismas condiciones y controlando en gran medida la alineación correcta de los elementos y adecuada planicidad para así descartar errores en la determinación del desgaste adhesivo severo (Galling).

### REFERENCIAS

- [1] S.R. Schmid, W.R.D. Wilson, Tribology in manufacturing, B. Bhushan, Modern Tribology Handbook, CRC Press, New York, (2000), pp. 1385-1399.
- [2] W.R.D. Wilson, Tribology in cold metal forming, J. Manufacture Science and Engineer, 119, (1997) 695-701.
- [3] ASTM Standard G98-02, ASTM, West Conshohocken. PA, USA, 2002
- [4] Ertas, a., Carper, H. J., & Blackstone, W. R. (1992). Development of a test machine and method for galling studies. *Experimental Mechanics*, 32(April), 340–347.
- [5] Siefert, J. a., & Babu, S. S. (2014). Experimental observations of wear in specimens tested to ASTM G98. *Wear*, 320, 111–119.