

# El efecto de daños en las superficies de vacío

LA INFLUENCIA DE ARAÑAZOS Y RUGOSIDADES DE LA SUPERFICIE EN LAS FUGAS DE LAS SUPERFICIES DE VACÍO

---



VDL Enabling Technologies Group

Enero 2015

**Proyecto Semestral Europeo**

Juan Carlos del Castillo

---

**avans**  
hogeschool

Universidad de ciencias aplicadas

's-Hertogenbosch, Holanda

---

**Tabla de contenidos**

- 1.1. Introducción al proyecto ..... 1
- 1.2. Metodología ..... 1
- 2. Definir ..... 1
  - 2.2 Introducción al problema ..... 1
  - 2.3 Los objetivos ..... 2
  - 2.4 Resultados esperados ..... 2
- 3. Medida ..... 2
  - 3.1 Plan de medida ..... 2
    - 3.1.1 Requerimientos ..... 2
  - 3.2. Resultados de las pruebas ..... 3
  - 3.3. Evaluación visual ..... 4
- 4. Analizar ..... 4
  - 4.1 Análisis funcional ..... 4
    - 4.1.1 ¿Qué material es más resistente a las fugas? ..... 4
    - 4.1.2 ¿Qué rugosidad es la más resistente a las fugas? ..... 5
    - 4.1.3 ¿Qué tipo de mecanizado es más resistente a las fugas? ..... 7
  - 4.2. Correlación entre la evaluación visual y la funcionalidad de las superficies de vacío ..... 8
- 5. Mejora ..... 10
- 6. Conclusión ..... 10

### 1.1. Introducción al proyecto

VDL Enabling Technologies Group Eindhoven opera en el negocio de integración de sistemas de sistemas mecatrónicos y módulos para fabricantes de equipos originales en la industria de bienes de equipo de alta tecnología. Como proveedor de sistemas, VDL ETG cubre la cadena de valor de la co-ingeniería a través de la producción de piezas, montaje y pruebas. Incluyen mecanizado, fresado de alta velocidad, rectificado de precisión, la producción de chapa, corte por láser, mecánico y eléctrico, montaje, pruebas, certificación de productos y la instalación en el sitio.

Varios productos de VDL ETG produce para los clientes contienen superficies de sellado y/o de vacío. Estas superficies se mecanizan (fresado y torneado) y lijado por artesanos de la rugosidad y estructura correcta. Actualmente VDL ETG no tiene una forma común o uniforme de trabajo en relación con el fresado/torneado y acabado por artesanos. Además, VDL ETG no tiene un procedimiento consistente en relación con la inspección visual de estas superficies y las inspecciones en línea no son suficientes para detectar los arañazos. Esto conduce a discusiones entre los artesanos y los inspectores de calidad en cuanto a la calidad de las superficies de vacío y los resultados en los altos costos causados por superficies de vacío innecesariamente alta calidad.

VDL ETG ha estado haciendo frente a estos problemas desde hace varios años.

El objetivo es que no debería haber ninguna discusión sobre las superficies de una parte entre los artesanos y el inspector de la calidad con respecto a si una superficie es buena y estudiar cuál es la mejor rugosidad, mecanizado y material para superficies de vacío.

### 1.2. Metodología

La metodología que se utiliza para este proyecto es DMAIC. Este es un ciclo de mejora que se utiliza comúnmente para conducir proyectos Six Sigma mientras que también se puede utilizar como marco para otros proyectos. Es un proceso estructurado para la solución de problemas que se compone de cinco fases básicas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar.

El informe está escrito según la DMAIC. El informe está estructurado y será más fácil de leer y de entender. En el capítulo de Definir, se asignan las necesidades y deseos del cliente, fueron usadas diferentes herramientas con el fin de entender al cliente. Una vez que las necesidades y los deseos son claros, y los resultados esperados se pueden formular. A continuación, está claro lo que está dentro y lo que está fuera del alcance del proyecto. El plan de medida consta de las herramientas necesarias que se necesitan para medir, lo que se va a medir y cómo se va a medir. Después de la fase de medida, se examinan los resultados de la prueba. En la fase de análisis, se analizarán los resultados de la prueba. Una vez que se analizan los resultados de las pruebas, se pueden sacar conclusiones. Con dichas conclusiones, las soluciones se pueden considerar para implementar en la empresa (fase de mejora). Las soluciones se dan, por ejemplo, sobre cómo mejorar la inspección de las superficies de vacío de fugas. En la fase de control, se da un consejo para aplicar las soluciones y para mantenerlo y mejorarlo.

## 2. Definir

En este capítulo la voz del cliente (necesidades y deseos) se definen. Una vez que las necesidades y deseos del cliente son objetivos claros y los resultados esperados, se pueden formular. Se utilizan diferentes métodos y herramientas como CTQ, SIPOC para entender al cliente en su mejor momento.

### 2.2 Introducción al problema

VDL ETG hace frente a los siguientes problemas:

- Las inspecciones en línea no son suficientes para detectar los problemas (arañazos, marcas de herramientas)
- No existe una norma que indica qué tipo de arañazos/daños provoca fugas en una superficie de vacío

- Algunos empleados no tienen el conocimiento suficiente sobre las superficies de vacío y pueden hacer arañazos en él debido a una manipulación incorrecta.

### 2.3 Los objetivos

El objetivo de este trabajo es poner a prueba el efecto de arañazos y daños en las superficies de vacío y crear un procedimiento en el que se describe la forma de evaluar la calidad de las superficies de vacío. Además, se evalúa el efecto de la rugosidad de la superficie, el tipo de material y el método de mecanizado de la calidad de las superficies de vacío.

### 2.4 Resultados esperados

Se esperan los siguientes resultados:

- Instrucciones estandarizadas e inequívocas para las pruebas y la validación de sellado y superficies de vacío
- Método mejorado para detectar fallos durante las inspecciones en línea.

## 3. Medida

### 3.1 Plan de medida

#### 3.1.1 Requerimientos

Diseñar un plan de medición. Después de medir el efecto de un rasguño en una superficie de vacío, los resultados obtenidos deben tenerse en cuenta. Se necesitan los siguientes resultados:

¿Qué material es más resistente a las fugas?

Los más usados en la empresa son aluminio y acero inoxidable

¿Qué rugosidad es más resistente a las fugas?

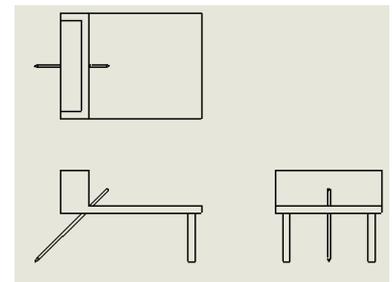
La rugosidad más usada es de Ra 0.8. Se quiere evaluar si una rugosidad más alta o más baja es más resistente a las fugas y por ello se eligió Ra 0.4 y Ra 1.4.

1. ¿Qué tipo de mecanizado es más resistente a las fugas?

- Fresado
- Torneado
- Lijado

2. ¿Qué profundidad y anchura del arañazo causa fugas?

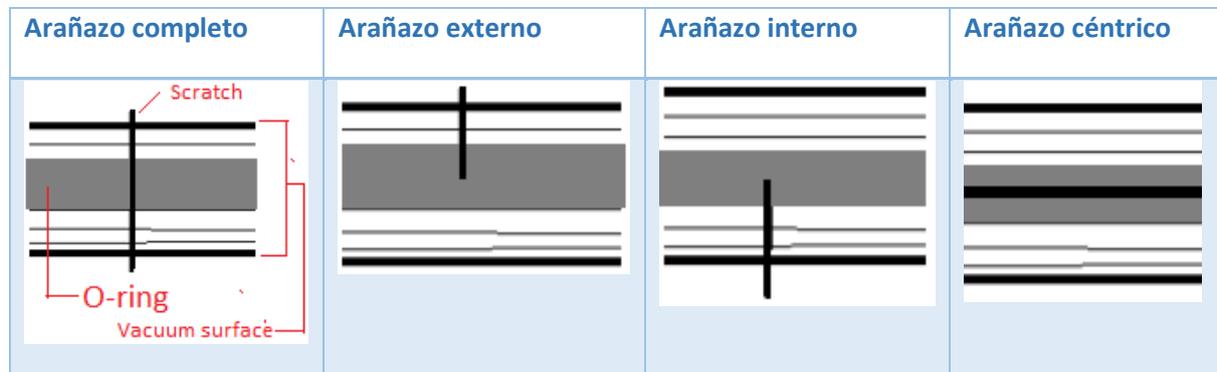
Para saber qué profundidad y la anchura correspondiente de cero provoca fugas, se evalúan diferentes arañazos. No se sabe en la empresa o en los clientes que la profundidad y la anchura correspondiente de arañazos provoca fugas. Se decidió hacer arañazos utilizando una herramienta, empezando con poca presión usando pesos ligeros y aumentando dicho peso hasta provocar una fuga.



3. ¿Qué posición de los arañazos causa fugas?

Se evaluaron cuatro tipos de arañazos. En la siguiente imagen se pueden apreciar las diferencias entre ellos.

Es posible medir la profundidad de un arañazo con una mezcla de dos componentes de pastas por medio de un microscopio. A partir de los resultados, es posible conocer qué tipo de rasguños provoca fugas.



### 3.2. Resultados de las pruebas

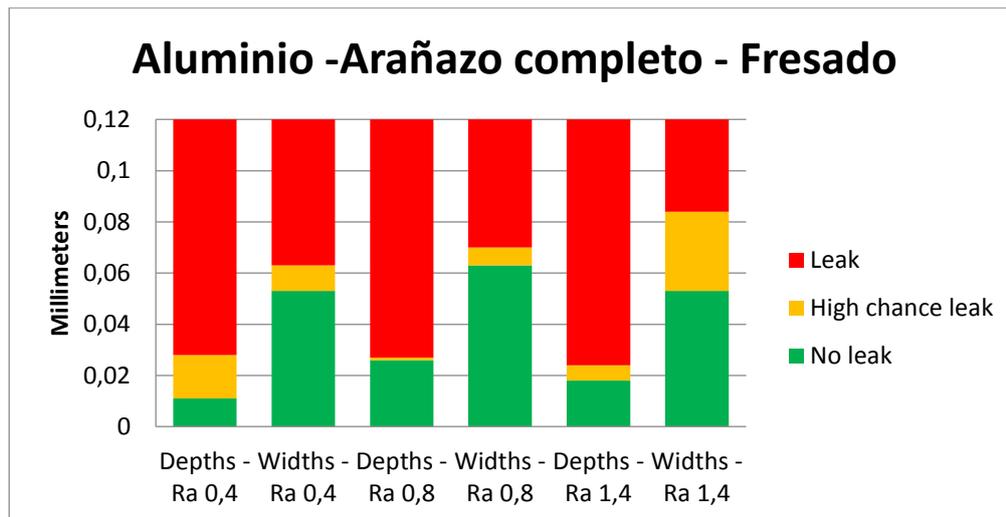
Se decide dividir la profundidad de arañazos en tres categorías:

- Verde: Esta categoría contiene profundidades y anchos de arañazos en los que es cierto que no existen fugas.
- Naranja: Esta categoría contiene profundidades y anchos de arañazos en los que no es 100 % exacto decir que las profundidades de arañazos provoquen fugas.
- Rojo: Esta categoría contiene profundidades y anchuras de arañazos en los que está seguro de que las profundidades de arañazos provocan fugas.

Weight (g)		ALUMINIUM								
		Full scratch of 90°								
		Milled			turning			Polished		
Depth and width (mm)		Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4	Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4	Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4
SCRATCH no Leak	weight	323,1	463,5	601,4	323,1	694,2	463,5	832,9	1378,6	1654,7
	width	0,053	0,063	0,053	0,065	0,071	0,04	0,073	0,078	0,095
	depth	0,011	0,026	0,018	0,015	0,021	0,017	0,015	0,02	0,018
SCRATCH Leak	weight	463,5	601,4	694,2	463,5	832,9	601,4	909,9	1511,8	1834,9
	width	0,063	0,07	0,091	0,069	0,083	0,057	0,093	0,101	0,104
	depth	0,033	0,027	0,031	0,018	0,025	0,024	0,022	0,025	0,026
SCRATCH Leak	weight	601,4	694,2	832,9	601,4	200	694,2	1142,4	1654,7	2065,6
	width	0,065	0,091	0,084	0,079	0,079	0,063	0,094	0,116	0,104
	depth	0,028	0,027	0,024	0,02	0,035	0,027	0,026	0,027	0,031

Sólo el arañazo que cruza la superficie de vacío totalmente es mostrado en el informe.

En la siguiente imagen, el verde, naranja y rojo representan los datos de la anterior tabla.



### 3.3. Evaluación visual

Herramientas para la inspección visual

- Microscopio – (Ampliación de 90 veces).
- Cámara de móvil
- Linterna de LED.

Hay 3 tipos de imágenes de cada arañazo.

- Microscopio
- Cámara 1. – En una habitación con luz.
- Cámara 2. – En una habitación oscura con una linterna.

Son las mejores imágenes para destacar el arañazo en la superficie de vacío.

## 4. Analizar

### 4.1 Análisis funcional

En esta sección se responde a la conexión entre los daños y la superficie de vacío.

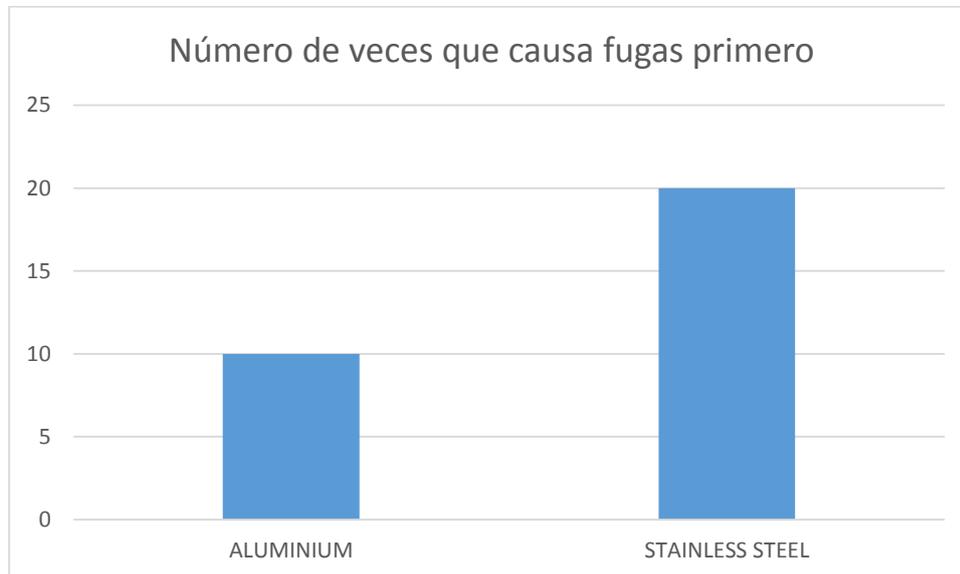
#### 4.1.1 ¿Qué material es más resistente a las fugas?

Se consideran materiales el aluminio y acero inoxidable. Los resultados muestran el material que causa fugas con el mismo arañazo en ambos materiales. En base a esto se puede concluir que el material es más resistente a las fugas

- **Sin arañazos:** Aluminio y acero inoxidable no causa fugas en ninguna superficie
- **Arañazo que cruza la superficie de vacío:** El acero inoxidable es el material más vulnerable
- **Arañazo en la parte exterior de la superficie de vacío:** Aluminio y acero inoxidable no causa fugas en ninguna superficie.
- **Arañazo en la parte exterior de la superficie de vacío:** Aluminio es el material más vulnerable Sin embargo, con Ra 1.4 en una superficie torneada sólo empieza a causar fugas con profundos arañazos.
- **Arañazo céntrico:** Aluminio y acero inoxidable no causa fugas en ninguna superficie

- **Arañazo en la parte exterior con plena fuerza a mano:** Aluminio y acero inoxidable no causa fugas en ninguna superficie

En el siguiente cuadro, es mostrado cuantas veces el aluminio o el acero inoxidable causa fugas con las mismas dimensiones del arañazo.



La superficie de vacío de aluminio es mejor material respecto a la prevención de fugas en comparación con la superficie de vacío de acero inoxidable en los diferentes tipos de mecanizado y rugosidades.

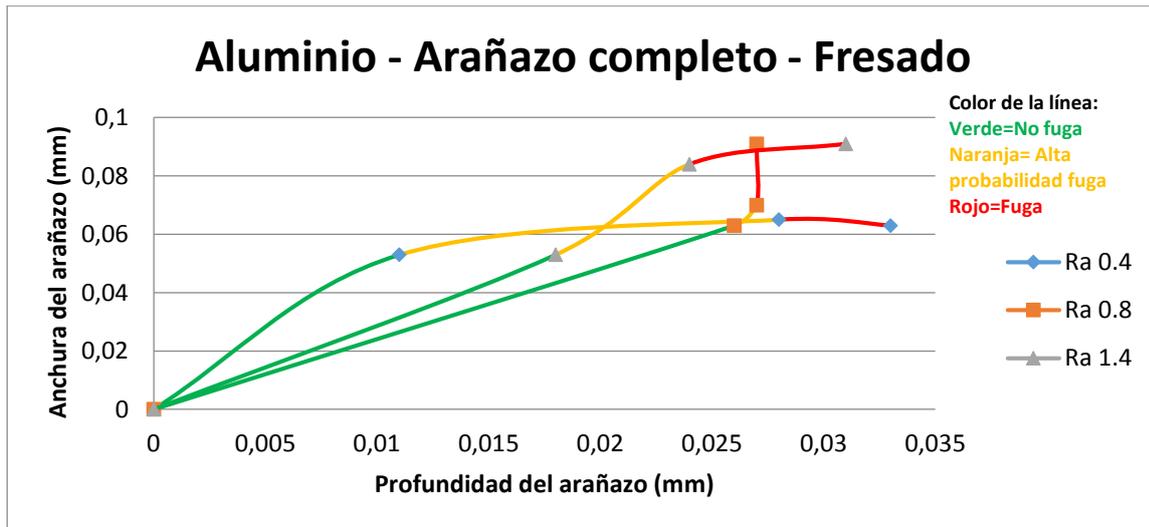
¿Qué material (aluminio o acero inoxidable) es más resistente a las fugas?

- **Aluminio.**

#### 4.1.2 ¿Qué rugosidad es la más resistente a las fugas?

Para responder a esta pregunta se examinan los resultados de la prueba. Se refiere a la rugosidad de 0,4, 0,8 y 1,4. Se puede concluir qué nivel de rugosidad es más vulnerable a las fugas y qué nivel de rugosidad es mejor.

- **No arañazos en la superficie de vacío:** No hay fugas en esta situación
- **Arañazo que cruza la superficie de vacío:** En el siguiente gráfico se puede ver un ejemplo de la profundidad y anchura exacta de los arañazos en el momento en el que se producen fugas.



**Conclusión:** En la superficie de vacío fresada con rugosidad Ra 0.8 es la más resistente a las fugas. Es claramente la mejor comparada con las demás rugosidades. La rugosidad Ra 0.4 es la más vulnerable.

En la siguiente tabla, los diferentes tipos de rugosidades y mecanizado son comparados. En cada tipo de mecanizado, un total de 10 puntos son divididos en los tres tipos de rugosidades. La rugosidad con menos puntos implica que causa fugas con menos profundidad y anchura que las demás. Por tanto, la que tiene más puntos es la mejor.

		Aluminio – ¿Qué rugosidad es la mejor? (10 puntos son divididos)								
		Fresado			Torneado			Lijado		
		Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4	Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4	Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4
<b>Tipo de arañazo</b>	Arañazo completo	1	6	3	3	6	1	2	4	4
	Arañazo interno	0	5	5	1	7	2	1	5	4
	Arañazo externo	NO LEAKS WERE FOUND								
	Arañazo céntrico	NO LEAKS WERE FOUND								
<b>Total</b>		<b>1</b>	<b>11</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>8</b>

	Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>33</b>	<b>19</b>

**Conclusión:** En cada tipo de mecanizado, la rugosidad Ra 0.8 es la más resistente a las fugas. La rugosidad Ra 0.4 es claramente la más vulnerable respecto a las demás con solo ocho puntos. Es remarcable decir que los arañazos en la parte externa o los céntricos no causaron fugas durante las pruebas.

¿Qué tipo de rugosidad es la más resistente a las fugas en una superficie de vacío de aluminio?

- **La rugosidad de 0.8 (Ra 0.8)**

El mismo método ha sido elegido para determinar qué rugosidad es más resistente a las fugas en el acero inoxidable:

	Ra 0.4	Ra 0.8	Ra 1.4
Total	3	25	22

Table 1 - Which roughness is best resistant to leaks? – Stainless steel

Conclusión: La rugosidad de 0.8 es la más resistente a las fugas con 25 puntos. La rugosidad de 0.4 es la más vulnerable con tan solo 3 puntos.

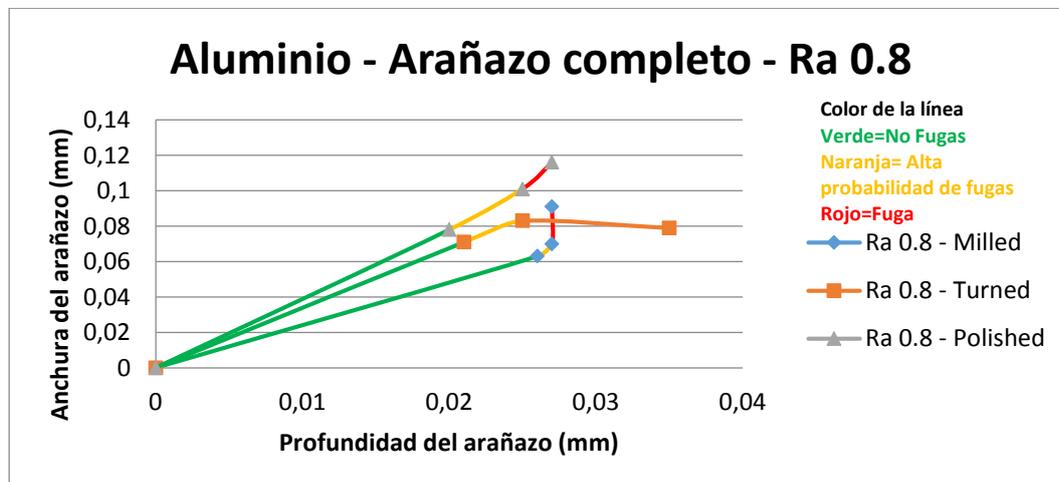
¿Qué tipo de rugosidad es la más resistente a las fugas en una superficie de vacío de aluminio?

- **La rugosidad de 0.8 (Ra 0.8)**

#### 4.1.3 ¿Qué tipo de mecanizado es más resistente a las fugas?

Como fue mencionado anteriormente hay tres tipos de mecanizado:

- Torneado
  - Fresado
  - Lijado
- **No arañazos en la superficie de vacío:** No hay fugas en esta situación
  - **Arañazo que cruza la superficie de vacío:** En el siguiente gráfico se puede ver un ejemplo de la profundidad y anchura exacta de los arañazos en el momento en el que se producen fugas.



Aluminio – Ra 0.8

**Conclusión:** En esta categoría no hay un claro ganador. Una superficie de vacío lijada o fresada es muy similar. La superficie fresada causa fugas con una menor anchura y mayor profundidad que el resto.

El mismo método que fue utilizado para determinar la mejor rugosidad ha sido elegido para determinar qué tipo de mecanizado es más resistente a las fugas en el aluminio

	Fresado	Torneado	Lijado
Total puntos	23	17	23

**Conclusión:** La superficie fresada y lijada, con 23 puntos son mejores que la torneada o lijada. Es remarcable que en el caso más crítico que es con el arañazo que atraviesa toda la superficie de vacío, la superficie lijada es la mejor.

¿Qué tipo de superficie de mecanizado es más resistente en una superficie de vacío de aluminio?

- Fresado y lijado

El mismo método ha sido elegido para determinar qué tipo de mecanizado es más resistente a las fugas en el acero inoxidable

	Fresado	Torneado	Lijado
Total puntos	14	13	11

**Conclusión:** La superficie fresada, con 14 puntos, es la más resistente a fugas.

¿Qué tipo de superficie de mecanizado es más resistente en una superficie de vacío de acero inoxidable?

- Fresado

#### 4.2. Correlación entre la evaluación visual y la funcionalidad de las superficies de vacío

La correlación entre el análisis visual y el análisis funcional de la superficie de vacío es muy importante. Por lo tanto, la empresa va a ahorrar mucho tiempo y dinero si una superficie de vacío ya que se puede juzgar visualmente si una superficie es buena. Por ejemplo: El inspector de calidad ve a un rasguño en una superficie de vacío y puede determinar si la superficie tiene una fuga sin necesidad de utilizar el medidor de fugas. Es difícil ver las diferencias entre los arañazos ya que las desviaciones (ancho, profundidad, longitud) son pequeñas. Por lo tanto, se proporciona una placa de muestras para la empresa. La placa de la muestra contiene los mismos arañazos que se hacen en las superficies de vacío durante las pruebas. Con la placa de muestra, es posible determinar en qué área pertenece el arañazo en la superficie de vacío. Si no está claro en qué área pertenece el arañazo hay que medirlo con la mezcla de pastas. Buscar en los resultados, la profundidad y el ancho para determinar si provocará fuga en la superficie de vacío.

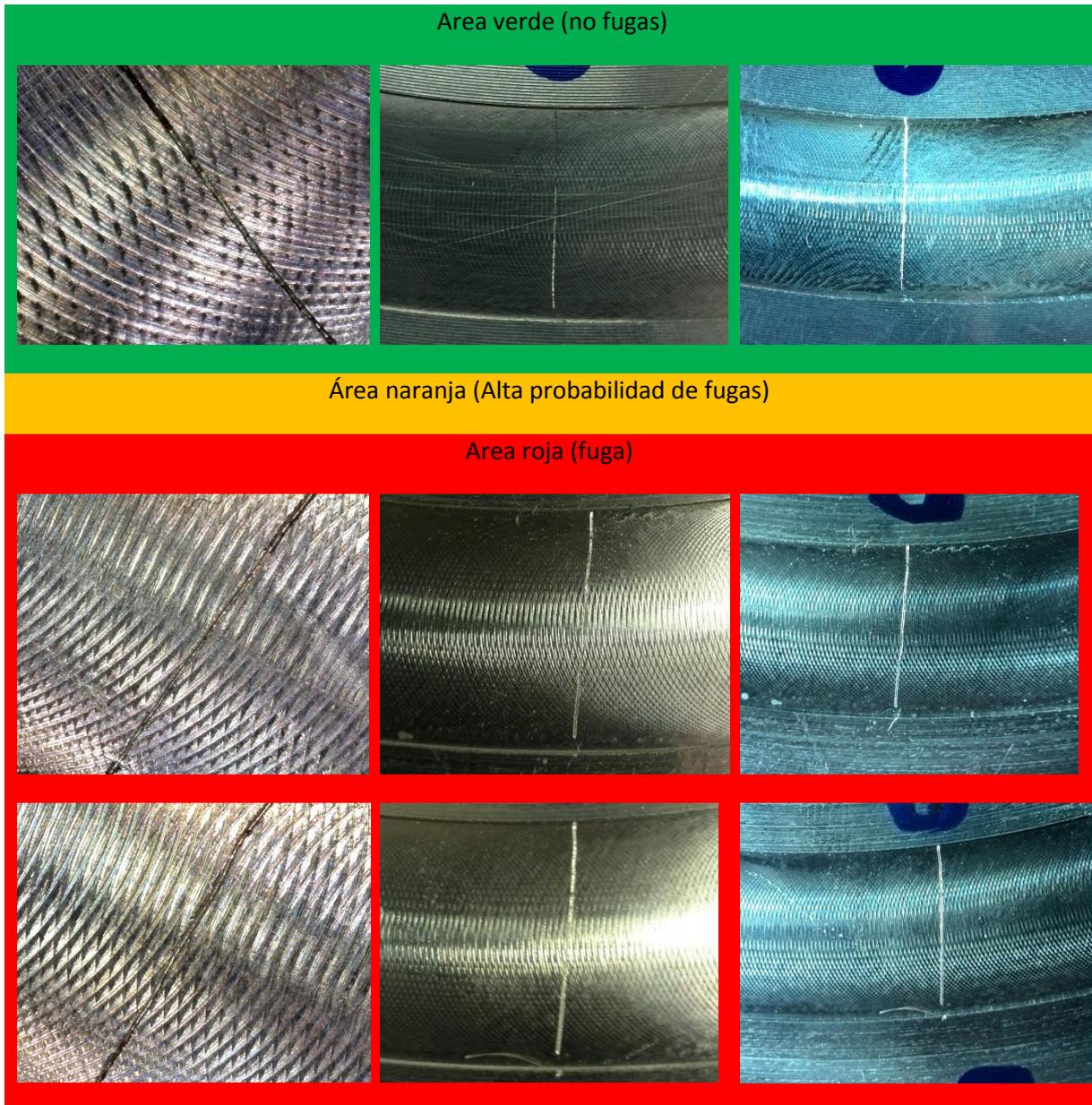
Es importante mencionar que la comparación de los arañazos es todavía una evaluación subjetiva. La mayoría de los arañazos tiempo será difícil de determinar en qué área pertenecen. Un rasguño delgado que pertenece a la zona verde y un rasguño muy profunda en la zona roja son distinguibles

Ejemplo: Aluminio, fresado, araño completo, Ra 0.8

Microscopio

Foto

Foto en habitación oscura con  
linterna



Como se dijo antes, la mayoría de los araños es difícil de determinar en qué área pertenecen. Un araño delgado que pertenece a la zona verde y un araño muy profundo en la zona roja son distinguibles. Los araños que pertenecen en la zona naranja son difíciles de determinar si se producen fugas. En la mayoría de los casos, el araño se tiene que medir para asegurar si la superficie de vacío no tiene fugas.

## 5. Mejora

Las mejoras se basan en los resultados, conclusiones y hallazgos las mejoras

- proceso :
  - Si los productos con superficies de vacío tienen una muy baja posibilidad de ser dañadas, lo mejor es no pulir las superficies de vacío ya que las superficies de vacío arañazos no causan fugas. Tendrá como resultado una fluctuación inferior de la calidad (tanto funcional y visual) de las superficies de vacío. Se reduce el tiempo de manipulación de un producto, lo que reduce la probabilidad de que se produzcan arañazos.
  - Una rugosidad de 0,8 es el mejor resistente a las fugas. Posteriormente, se recomienda producir una superficie de vacío con una rugosidad de 0,8. En realidad, no se recomienda para producir superficies de vacío con una rugosidad inferior a 0,8.
  - Producir productos con una superficie de vacío de aluminio, ya que comienza a haber fugas con arañazos más profundos y más amplios que en una superficie de vacío de acero inoxidable
  - Si los arañazos son identificados por el inspector de calidad,
    1. Compruebe si hay arañazos en la superficie de vacío e identificarlos con el correspondiente con el arañazo de la placa de muestra.
    2. Busque en la hoja "profundidades y anchuras que causan fugas".
    3. Si se encuentra en la zona verde no es necesario pulir el arañazo, no causa fuga.
    4. Si el arañazo pertenece a la zona naranja o no es posible identificar en qué área pertenece:
      - a. El inspector de calidad debe medir la profundidad y la anchura del arañazo con la pasta y el microscopio.
      - b. Busque en la hoja "profundidades y anchuras que causan fugas".
      - c. Concluir con certeza si el arañazo pertenece a la zona verde, zona naranja o zona roja.
    - d. Una decisión se puede tomar si se debe pulir la superficie de vacío o volver a mecanizarla.

## 6. Conclusión

Se ha investigado el efecto de los arañazos sobre una superficie de vacío con respecto a fugas. La investigación ha dado los siguientes resultados:

- Los productos con superficies de vacío de aluminio son más resistentes a las fugas que los productos con superficies de vacío de acero inoxidable. De hecho, los productos con superficies de vacío de aluminio tenían menos veces la primera fuga en comparación con las superficies de vacío de acero inoxidable. Sin embargo, hay algunos casos con algunos rasguños,

cierta superficie mecanizada de vacío y cierta rugosidad en la que las superficies de vacío de acero inoxidable son mejores.

- Superficies de vacío con una rugosidad de 0,8 es, en general, claramente la mejor rugosidad contra fugas. Por otro lado, una rugosidad de 0,4 es claramente la peor rugosidad contra fugas. En realidad, de acuerdo con los resultados, una rugosidad de 0,4 era ni siquiera es una vez la mejor rugosidad contra fugas en las diferentes pruebas.
- La superficie pulida es la mejor resistencia a fugas en una superficie de aluminio al vacío. Con respecto a una superficie de vacío de acero inoxidable, es una superficie fresada. Aunque una superficie pulida no es mucho más vulnerable.

Además tenga presente lo siguiente en mente:

- Cada tipo de superficie de vacío no hay fugas si no está dañada.
- Durante las pruebas, la mitad de los arañazos externos no provocaron fugas en ninguna superficie de vacío. El equipo del proyecto incluso hizo un arañazo externo a mano con toda su fuerza en aluminio y acero inoxidable y no hubo fugas.
- Arañazos céntricos tampoco causaron pérdidas en todo tipo de superficies de vacío durante las pruebas.
- Los arañazos internos de 90 sólo causaron pérdidas en aluminio y acero inoxidable con una rugosidad de 0,4.
- Los arañazos en las superficies de vacío hechos por papel de grano no causaron fugas.

Las profundidades y anchuras de arañazos se pueden medir exactamente por medio de una mezcla de pastas y un microscopio.

ASML no acepta productos con superficies de vacío con fugas. Permiten arañazos hasta un máximo de la siguiente dimensión:

- Profundidad: 0,14 mm máx.
- Ancho: 0,1 mm máx.

Sin embargo, según los resultados, arañazos ya que provocan fugas están por debajo de la dimensión permitida.

Las diferencias en los arañazos en las superficies de vacío son difíciles de ver. Sin embargo, un rasguño muy fino y un rasguño muy profundo son distinguibles. Se verificó que si la profundidad y la anchura de arañazos aumentan, los arañazos brillan más cuando se dirige la luz a los arañazos.

Para la correlación entre la evaluación visual y la funcionalidad de las superficies de vacío, una placa de muestra puede ser utilizada. Por lo tanto, una superficie de vacío se puede juzgar visualmente si una superficie es buena. La placa de la muestra contiene los mismos arañazos que se hicieron en las superficies de vacío durante las pruebas. Con la placa de muestra y una linterna, es posible determinar en qué área de la placa de la muestra se encuentra el arañazo. No obstante, la mayoría de los arañazos

será difícil de determinar en qué área pertenecen. Un rasguño delgado que pertenece a la zona verde y un rasguño muy profunda en la zona roja son fáciles de distinguir. Los arañazos que pertenecen en la zona naranja son difíciles de determinar si producen pérdidas o no. En la mayoría de los casos, el arañazo tiene que ser medido con una mezcla de pastas y un microscopio para asegurarse de si la superficie de vacío tiene fugas. Esto sólo tardará 15 minutos. Una vez que se miden la profundidad y anchura, se puede determinar si pertenece a la zona naranja. Si el arañazo está en el área de naranja, el comprobador de fugas tiene que ser utilizado. Esto ahorra una gran cantidad de tiempo, energía y dinero porque la superficie de vacío no será rechazada de inmediato cuando un arañazo se encuentra en la superficie de vacío.