



Dyna

ISSN: 0012-7353

dyna@unalmed.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Colombia

Cano Rodas, José Ricardo; Congote García, Juan Pablo; Toro, Alejandro  
Efecto de la velocidad y ángulo de impacto en la resistencia a corrosión - erosión de aceros  
inoxidables recubiertos con TiN  
Dyna, vol. 71, núm. 144, noviembre, 2004, pp. 49-59  
Universidad Nacional de Colombia  
Medellín, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49614406>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# EFFECTO DE LA VELOCIDAD Y ÁNGULO DE IMPACTO EN LA RESISTENCIA A CORROSIÓN - EROSIÓN DE ACEROS INOXIDABLES RECUBIERTOS CON TiN

JOSÉ RICARDO CANO RODAS

*Grupo de Tribología y Superficies, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

JUAN PABLO CONGOTE GARCÍA

*Grupo de Tribología y Superficies, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*

ALEJANDRO TORO

*Director Grupo de Tribología y Superficies, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín*  
[gts@unalmed.edu.co](mailto:gts@unalmed.edu.co)

Recibido 14 de Septiembre de 2004, aceptado 27 de Septiembre de 2004, versión final 7 de Octubre de 2004

**RESUMEN:** Fueron estudiados los mecanismos de degradación superficial en aceros inoxidables austenítico AISI 304 y martensítico AISI 420, con y sin recubrimiento cerámico de TiN, aplicado mediante técnica de deposición física de vapor PVD por arco pulsado, sometidos a erosión (solución de agua destilada con 30% en peso de partículas de sílice), corrosión (solución  $\frac{1}{2}$  M  $H_2SO_4$  + 3.5% NaCl) y efectos sinérgicos corrosión - erosión. Fue construido un dispositivo para realizar los ensayos descritos con la posibilidad de variar la velocidad y el ángulo medio de impacto de las partículas sobre la superficie de las muestras. Marcas características fueron observadas en las superficies desgastadas, siendo la condición de ángulo rasante la de mayor efecto nocivo tanto para las superficies desnudas como para las recubiertas con TiN. El nivel de deterioro superficial aumentó con la velocidad de impacto, al tiempo que se evidenció la importancia de la adherencia de las películas protectoras al sustrato para la obtención de una buena resistencia a corrosión-erosión. La sinergia corrosión-erosión presentó, en algunas ocasiones, un efecto positivo para la superficie, ya que el impacto de las partículas duras causó intensa deformación plástica pero no consiguió remover material de la superficie.

**PALABRAS CLAVES:** Aceros Inoxidables, Erosión, Corrosión, Sinergia, Películas delgadas.

**ABSTRACT:** The mechanisms of surface degradation of austenitic AISI 304 and martensitic 420 stainless steels were studied. Both uncoated and TiN-coated specimens were subjected to erosion (distilled water with 30% wt. silica particles solution), corrosion ( $\frac{1}{2}$  M  $H_2SO_4$  + 3.5% NaCl solution) and corrosion-erosion tests. A corrosion-erosion testing machine with the possibility of varying the particle impact velocity and impact angle over the specimens' surface was built to carry out the tests. The results showed that the low impact angle condition was the most harmful for both uncoated and TiN coated specimens, the wear damage increased with impact velocity and the adherence between the TiN coating and the steel substrate was crucial to obtain good corrosion-erosion resistance. In some cases, the corrosion-erosion synergism resulted in a beneficial effect, since the solid particle impact caused intense plastic deformation and prevented mass loss from the surface.

**KEYWORDS:** Stainless Steels, Erosion, Corrosion, Synergism, Thin films.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las moto bombas son dispositivos utilizados para el movimiento de líquidos y sólidos en diferentes procesos productivos. Las moto bombas centrífugas en particular son usadas

de manera generalizada en el bombeo de líquidos con diferentes propiedades y con diferentes contenidos de sólidos. A pesar del correcto diseño y operación de estos dispositivos, es inevitable la aparición al interior de las bombas de desgaste de tipo

tanto erosivo como corrosivo, impidiendo su buen funcionamiento y causando daños catastróficos a las componentes, lo que se traduce en altos costos por mantenimiento y paros en la producción [1,2].

Para evitar el deterioro precario de las componentes de las moto bombas centrífugas, se ha optado por fabricar sus partes en una amplia gama de materiales, tales como acero inoxidable, níquel, caucho y polipropileno, entre otras alternativas utilizadas en la actualidad [3]. Otra solución que se plantea es el recubrimiento de las componentes de la bomba, principalmente la carcasa y el impulsor, con materiales resistentes al desgaste.

El presente estudio conlleva el análisis de una propuesta de mejora del comportamiento frente al desgaste corrosivo-erosivo de las moto bombas, utilizando aceros inoxidables de la serie 300 (austeníticos) con excelente respuesta a la corrosión, y aceros inoxidables de la serie 400 (martensíticos) con buenas propiedades mecánicas frente a la erosión, ambos recubiertos con película cerámica de nitrato de titanio (TiN) aplicada mediante técnicas PVD (deposición física de vapor).

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales

Fueron utilizados 2 aceros inoxidables comerciales, uno austenítico AISI 304 y uno martensítico AISI 420, cuyas composiciones químicas nominales se presentan en la tabla 1. Las probetas utilizadas para los ensayos tienen un diámetro de 1 cm y un espesor de 4 mm.

### 2.2 Tratamientos térmicos y aplicación de películas de TiN

El acero AISI 304 fue estudiado en estado de entrega (laminado en frío). El acero AISI 420 fue tratado térmicamente mediante austenización durante 1 hora a 1100°C, posterior temple en aceite y finalmente

revenido a 200°C durante 1 hora. Estas condiciones son las más comúnmente utilizadas para estos materiales en aplicaciones industriales.

**Tabla 1.** Composición química nominal (% en peso) de los aceros AISI 304 y AISI 420

Elemento	AISI 304	AISI 420
C	0.08	0.3-0.4
Mn	2.0	1.0
Si	1.0	1.0
Cr	18-20	12-14
Ni	8-10.5	-
P	0.045	0.04
S	0.03	0.03
Otros	Fe: balance	Fe: balance

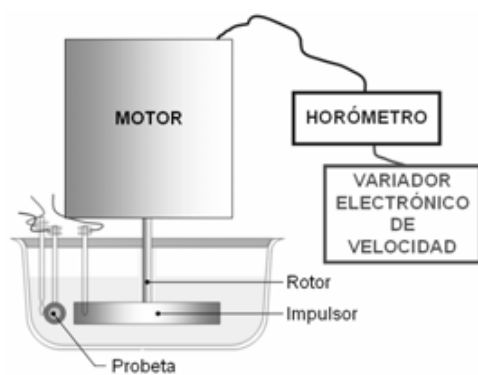
La aplicación de las películas de nitrato de titanio fue realizada mediante técnicas de deposición física de vapor PVD en un reactor no comercial. Previa aplicación de las capas, las probetas fueron limpiadas en un equipo de ultrasonido utilizando acetona, secadas y ubicadas en el reactor a 5 mm del cátodo de titanio. Además, y previo a la aplicación de las capas, las probetas fueron sometidas a descargas luminiscentes para asegurar una mayor limpieza de las superficies a ser recubiertas, mejorando la adherencia de las capas al sustrato. Estas descargas se realizaron durante 10 minutos a una presión de 1.7 mbar para cada probeta.

Para la aplicación de los recubrimientos se utilizó un plasma rico en nitrógeno generado a 300 V y 1.7 mbar. Se utilizaron 5 descargas que produjeron recubrimientos con espesor cercano a los 600 nm.

### 2.3 Evaluación de la resistencia a corrosión-erosión

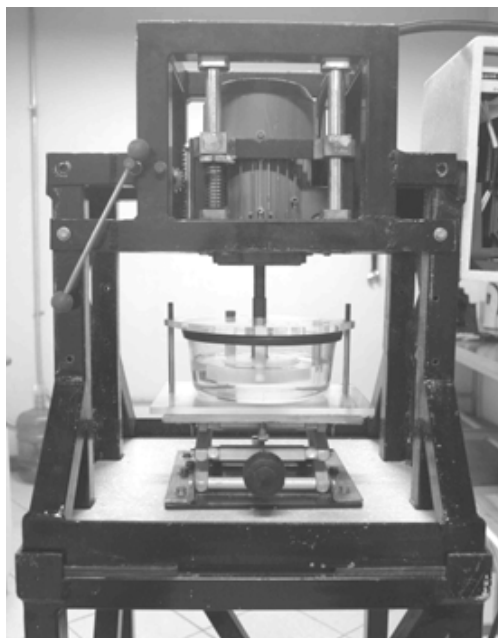
Fue construido un dispositivo que permite evaluar la resistencia a corrosión-erosión de los materiales utilizados, el cual se presenta esquemáticamente en la figura 1. El dispositivo consta de un motor con un impulsor fabricado en UHMWPE. Al momento del ensayo, el impulsor se sumerge

en un recipiente de vidrio en el cual se encuentra ubicada la probeta en un porta-probetas fabricado, el cual se encuentra fijo a la tapa del recipiente, diseñado de tal manera que sólo una cara de la muestra se encuentre en contacto con el fluido, garantizando hermetismo en las demás caras.



**Figura 1.** Esquema del dispositivo construido para las pruebas de desgaste corrosión - erosión

La figura 2 presenta una imagen del banco de pruebas construido.



**Figura 2.** Banco de pruebas fabricado para la realización de ensayos corrosión erosión

La velocidad de giro del impulsor fue controlada usando un variador de frecuencia, con opción de giro entre 20 y 6000 rpm. En este trabajo se utilizaron 3 velocidades de giro del motor: 2000, 3500 y 5000 rpm, correspondientes a velocidades de impacto de las partículas de aproximadamente 4.5, 6.9 y 8.5  $\text{ms}^{-1}$  respectivamente. El ángulo medio de impacto del fluido sobre las muestras fue controlado mediante fijación del porta-probetas a la tapa del recipiente de vidrio en 3 diferentes posiciones como se presenta en la figura 3, con la opción de variar el ángulo medio de impacto entre 30, 60 y 90°. En este trabajo fueron utilizados 30 y 90°.



**Figura 3.** Perforaciones que permiten variar el ángulo medio de impacto de las partículas y el fluido sobre las muestras

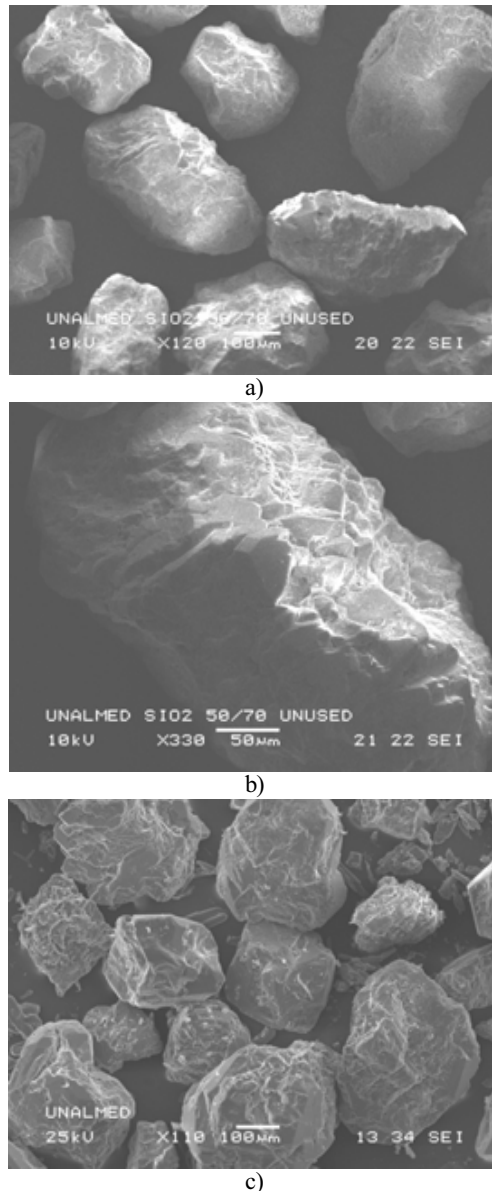
Se emplearon 3 medios para la realización de los ensayos:

**Erosión:** 70/100 (peso) de agua destilada + 30/100 (peso) de sílice con tamaño medio de partículas entre 212 y 300  $\mu\text{m}$ .

**Corrosión:** solución  $\frac{1}{2}$  M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 3.5% (peso) NaCl.

**Corrosión - erosión:** 70/100 (peso) de solución  $\frac{1}{2}$  M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  + 3.5% (peso) NaCl + 30/100 (peso) de sílice con tamaño medio de partículas entre 212 y 300  $\mu\text{m}$ .

La figura 4 presenta la morfología de la sílice utilizada en los ensayos, antes y después de realizado el mismo.



**Figura 4.** Aspecto típico de las partículas erosivas de sílice utilizadas, a) antes del ensayo, b) textura de las partículas, c) después del ensayo

Para la realización de los ensayos, todas las muestras fueron llevadas a una condición de acabado superficial semejante, correspondiente a pulido metalográfico con partículas de diamante de 3  $\mu\text{m}$  y rugosidad media  $R_a$  inferior a 0.1  $\mu\text{m}$ . Antes y después de cada ensayo las muestras fueron sometidas

a limpieza por ultrasonido y secado con aire tibio.

Todos los ensayos tuvieron una duración de 1 hora. Como factores de evaluación de la respuesta de los materiales se utilizaron la pérdida de masa (cuantitativo) y la apariencia de las superficies antes y después de los ensayos (cualitativo). La pérdida de masa fue medida utilizando balanza analítica con poder de resolución de 0.1 mg. Las superficies fueron analizadas utilizando microscopio estereoscópico PGH Rundfunk Fernsehen S15 E/G y microscopio electrónico de barrido JEOL JSM 5910LV.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

#### 3.1 Dureza

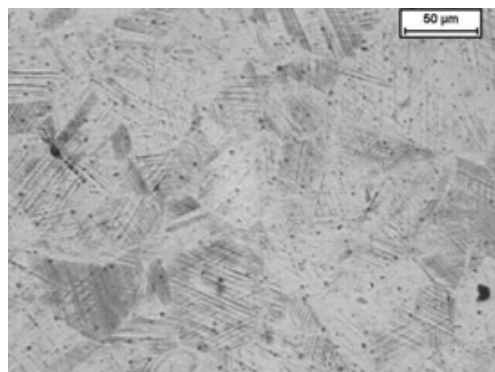
La dureza medida en el acero inoxidable AISI 304 sin recubrimiento de TiN en estado de entrega, en este caso laminado en frío, fue de 240-250 HV, equivalente aproximadamente a 25 HRC. Para el acero inoxidable AISI 420 sin recubrimiento de TiN, con tratamiento de temple y revenido, la dureza medida osciló entre 52-54 HRC.

#### 3.2 Microestructura

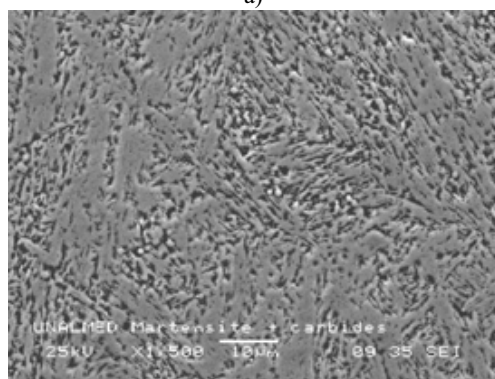
La figura 5 presenta las microestructuras de los materiales utilizados en los ensayos.

En la figura 5a se muestra la microestructura del material AISI 304 laminado en frío, el cual presenta granos de austenita con presencia de algunas bandas de deformación como consecuencia del proceso de conformado en frío. La figura 5b presenta la microestructura del material AISI 420 tratado térmicamente, el cual presenta una estructura martensítica con pequeños carburos de tipo  $M_{23}C_6$  dispersos en la matriz. La figura 5c presenta la apariencia de las superficies recubiertas con TiN la cual es similar para los dos materiales utilizados, notándose la presencia de microgotas (*droplets*) ricas en titanio, las cuales son formadas durante el

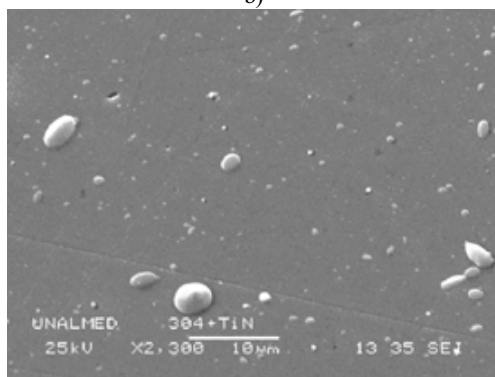
proceso de deposición de la película de TiN en el reactor PVD.



a)



b)



c)

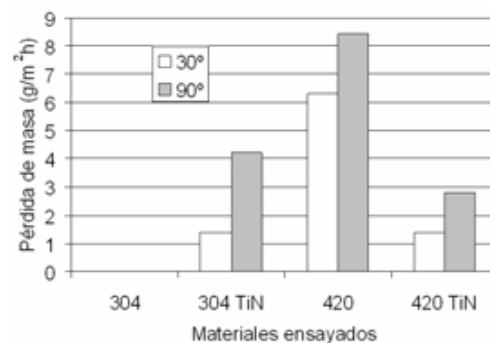
**Figura 5.** Microestructura de los materiales estudiados. Microscopía electrónica de barrido.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 Erosión

En la figura 6 se presentan los resultados de pérdida de masa para las probetas ensayadas

en erosión, con velocidad de impacto de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$ . Se puede observar la mayor pérdida de masa en condiciones de impacto normal, situación en la cual las partículas entregan la máxima cantidad de energía cinética a la superficie. La fatiga superficial debida al continuo impacto de partículas sobre la superficie favorece el desprendimiento de material [4,5]. Sin embargo, el acero AISI 304 presenta un comportamiento diferente debido a su ductilidad. La energía entregada por el impacto de las partículas sobre la superficie ocasiona alta deformación plástica, sin presentar fractura frágil ni desprendimiento de material, lo que produce pérdidas de masa nulas. Sin importar si la superficie deteriorada se genera por choques a  $30^\circ$  o a  $90^\circ$ , la ductilidad de este tipo de material permite que la energía de los impactos pueda ser absorbida mediante deformación plástica.

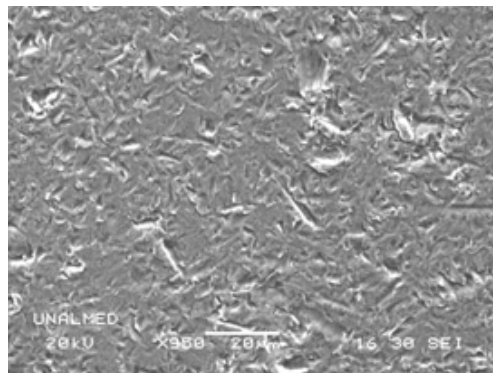


**Figura 6.** Pérdida de masa para los materiales utilizados sometidos a erosión, con velocidad de impacto de las partículas de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$ , en función del ángulo de impacto

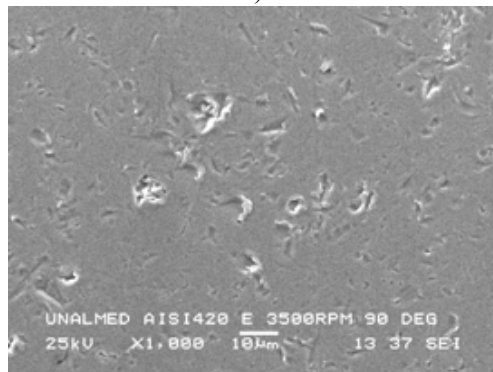
En la figura 7 se muestra como a pesar de que la superficie dúctil del acero AISI 304 presenta, de manera cualitativa, un mayor deterioro superficial que el acero AISI 420, la pérdida de masa es menor, como se ha dicho, debido al efecto de la deformación plástica.

En cuanto al recubrimiento de TiN, favoreció la pérdida de masa del acero AISI 304, mientras la disminuyó para el acero AISI 420. Cabe anotar que, de manera cualitativa, se observó durante los ensayos realizados pobre

adherencia entre la capa de TiN y el sustrato. Esto explica la mayor pérdida de masa para el acero AISI 304 con TiN que sin recubrimiento. En este caso, las partículas impactan sobre la superficie del recubrimiento, llevando a su fractura en algunas zonas tanto en ángulo normal como rasante, causando el desprendimiento de la película de TiN del sustrato. Posteriormente, una vez el sustrato queda expuesto, se forman cráteres y proas que generan erosión del material y el comportamiento es similar al material sin recubrimiento.



a)



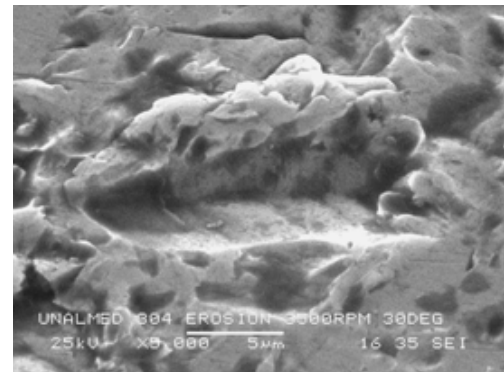
b)

**Figura 7.** Apariencia de las superficie ensayadas, sometidas a erosión, con velocidad de impacto de las partículas de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$  e impacto normal, a) AISI 304, b) AISI 420

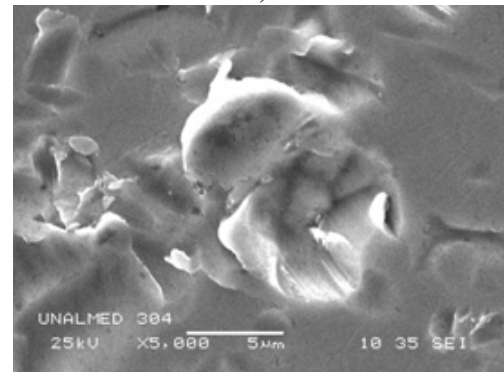
Para el caso del acero AISI 420, la mayor resistencia al desgaste impuesta por el tratamiento térmico efectuado, además de su fragilidad, impidieron que éste pudiese absorber toda la energía entregada por el impacto de las partículas mediante

deformación plástica, registrando mayores pérdidas de masa que el acero AISI 304. Sin embargo, la adición de una capa protectora de TiN presentó efectos benéficos en la pérdida de masa del material por erosión.

En la figura 8 se presenta la forma característica de las huellas encontradas en los ensayos de erosión dependiendo del ángulo de impacto.



a)



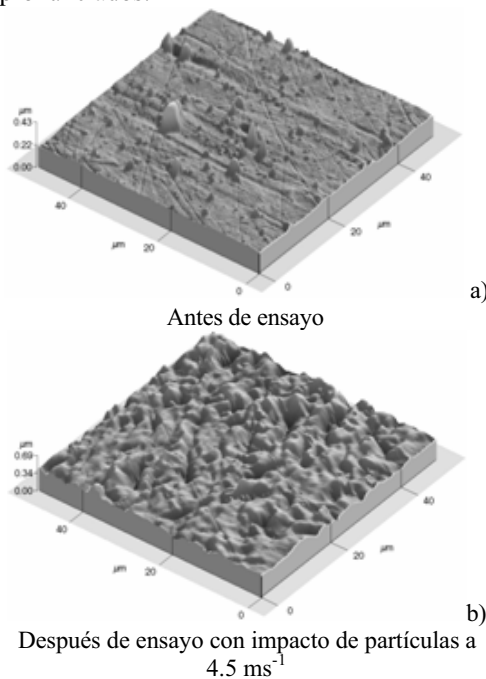
b)

**Figura 8.** Huellas características encontradas en ensayos de erosión, a)  $30^\circ$ , b)  $90^\circ$

De forma general, con ángulos de impacto rasantes fue posible apreciar huellas alargadas dejadas por las partículas, formación de proas y evidencias de micro-corte en la superficie interna de la huella. Para ángulos normales, el impacto generó huellas localizadas de tipo indentación con pequeñas proas laterales, posiblemente generadas por la velocidad angular de las partículas al momento del choque [6,7]. En muchos casos se pudo apreciar que la película

de TiN fue capaz de acompañar la deformación plástica del sustrato. Estas características del material del recubrimiento lo hacen apto para aplicaciones en erosión bajo las condiciones de velocidad de impacto estudiadas, ya que a la vez que protege el material dado su elevado valor de dureza, está en capacidad de acompañar la deformación plástica generada por las partículas sin deteriorarse ni desprenderse, siempre y cuando la película protectora presente buena adherencia al sustrato, lo cual debe garantizarse desde el proceso de aplicación.

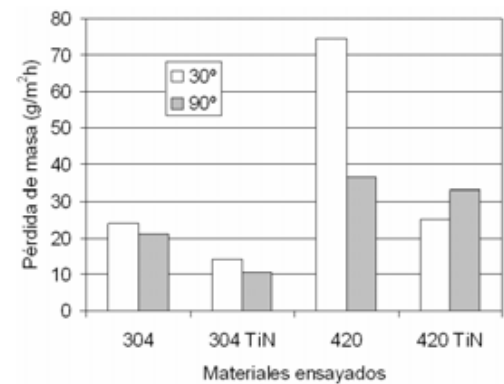
En la figura 9 se presenta una imagen de la superficie del acero AISI 304 recubierto con TiN después del ensayo de erosión, obtenida mediante AFM. Es evidente el paso de una superficie razonablemente lisa (con las microgotas como única característica sobresaliente) a una superficie irregular, con gran cantidad de valles profundos y picos pronunciados.



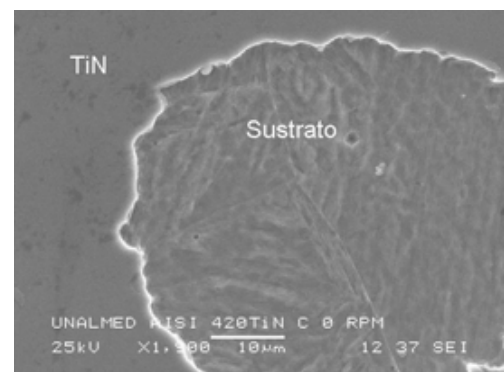
**Figura 9.** Evidencias obtenidas por AFM del cambio en la superficie de un acero AISI 304 recubierto con TiN, como consecuencia de someterla a erosión durante 1 hora en lodo compuesto por agua destilada + 30% en peso de partículas de sílice.

## 4.2 Corrosión

En la figura 10 se presentan los resultados de pérdida de masa para las probetas ensayadas en corrosión dinámica, con velocidad de impacto del fluido de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$ . La figura 11 presenta el desprendimiento de la capa debido a la acción corrosiva. Se observa una mayor pérdida de masa para el acero AISI 420 en condiciones de corrosión dinámica al igual que en el caso de erosión. Sin embargo, para ambos materiales, se registra mayor pérdida de masa para ángulo rasante. Luego de un ataque químico de la superficie que genera tanto corrosión generalizada como picaduras, se presenta un desprendimiento y arrastre de material por parte de la solución, mecanismo que se facilita para ángulos rasantes.



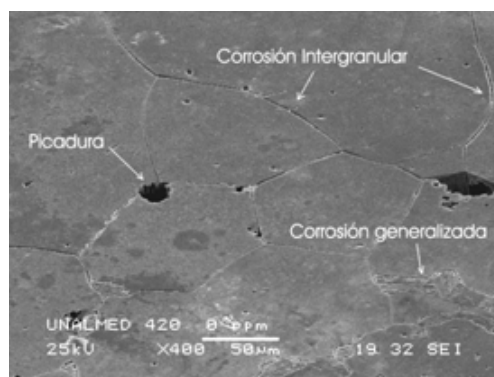
**Figura 10.** Pérdida de masa para los materiales utilizados sometidos a corrosión dinámica, con velocidad de impacto de las partículas de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$ , en función del ángulo de impacto



**Figura 11.** Efecto de la acción corrosiva en el desprendimiento de la capa de TiN



Los principales mecanismos de degradación identificados fueron corrosión generalizada, picadura y corrosión intergranular, como se presenta en la figura 12. En general, bajo condiciones de corrosión dinámica no se observaron evidencias significativas de deformación plástica en la superficie debido a la ausencia de choques de partículas duras en suspensión.



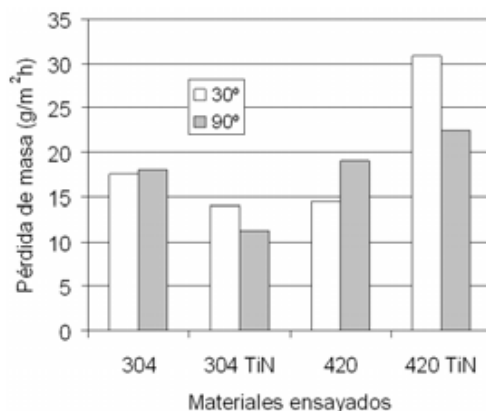
**Figura 12.** Mecanismos de degradación superficial identificados por efectos corrosivos en los materiales estudiados

Los resultados de pérdida de masa muestran que el recubrimiento en la condición corrosiva actúa de forma benéfica. El impacto de la solución sobre la superficie logra formar picaduras en la película las cuales no generan pérdidas de masa considerables, pero debido a la ausencia de partículas duras, la película persiste en su mayoría, retrasando el ataque del sustrato. Esto lleva a obtener pérdidas de masa menores en los materiales recubiertos.

Es importante observar la diferencia en magnitud de las pérdidas de masa para erosión y corrosión, lo que permite concluir que el principal mecanismo de remoción de material es debido al efecto corrosivo.

### 4.3 Corrosión-Erosión

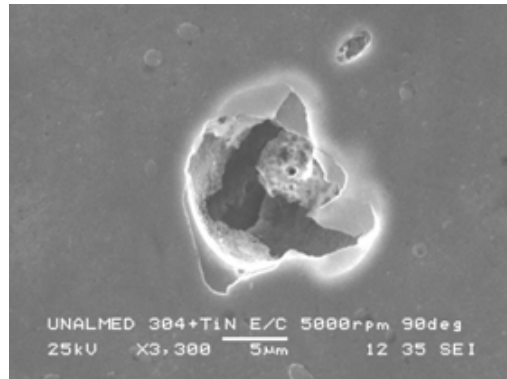
En la figura 13 se presentan los resultados de pérdida de masa para las probetas ensayadas en corrosión-erosión, con velocidad de impacto de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$ .



**Figura 13.** Pérdida de masa para los materiales utilizados sometidos a corrosión - erosión, con velocidad de impacto de las partículas de  $6.9 \text{ ms}^{-1}$ , en función del ángulo de impacto

En términos generales, el acero AISI 304 presentó un mejor comportamiento que el acero AISI 420 en condiciones de corrosión-erosión, resultado coherente con la premisa del mejor comportamiento del material de la serie 300 frente al ataque químico. Sin embargo, se observó que el efecto nocivo o benéfico de la presencia de la capa de TiN en los materiales, depende directamente de la adhesión y el estado de la película, ya que un buen recubrimiento es atacado tanto por la solución como por las partículas sin desprenderse del material base, protegiéndolo y evitando mayores pérdidas de masa; por el contrario, una película que presente porosidad o mala adherencia, incluso genera un efecto negativo en la superficie, al permitir la acumulación de solución en pequeñas zonas de la superficie, incrementando la degradación por picado, como se presenta en la figura 14.

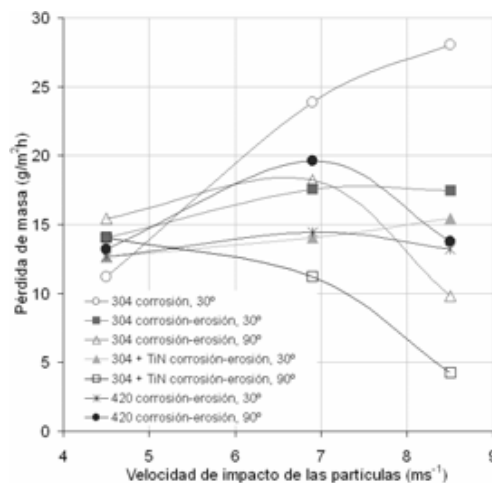
Por otro lado, el efecto combinado de las partículas con la solución corrosiva acelera la degradación superficial y la remoción de película protectora, dejando la solución desnuda y volviendo a un comportamiento en el cual el material no está recubierto.



**Figura 14.** Formación de picaduras por acumulación de solución corrosiva en un acero AISI 304 recubierto con TiN, sometido a corrosión-erosión, con impacto normal promedio de las partículas a  $8.5 \text{ ms}^{-1}$

#### 4.4 Efecto de la velocidad de impacto

En la figura 15 se presenta el efecto de la velocidad de impacto para las diferentes condiciones de ensayo



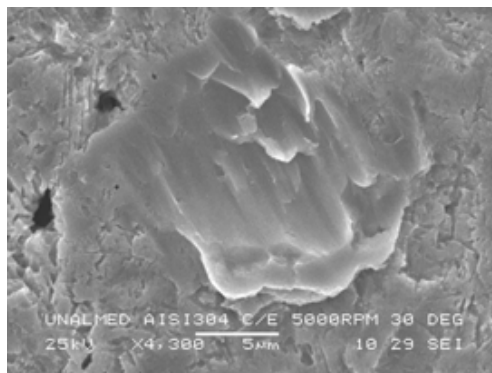
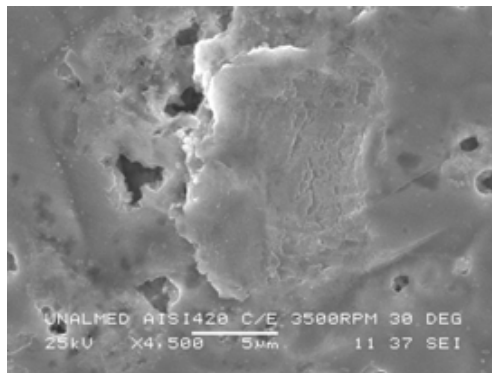
**Figura 15.** Efecto de la velocidad de impacto en la pérdida de masa de los aceros AISI 304 y AISI 420 sometidos a corrosión-erosión

Para velocidades bajas, las mayores pérdidas de masa se presentaron para ángulo de impacto normal. A su vez, para la mayor velocidad utilizada,  $8.5 \text{ ms}^{-1}$ , las mayores pérdidas de masa se presentaron para ángulo de impacto rasante, lo cual ha sido observado

por otros investigadores en tribosistemas similares [8,9]. Es claro un efecto de reducción de la pérdida de masa del material con el aumento de la velocidad y el impacto normal de las partículas. Cuando la velocidad de impacto es alta y la incidencia es normal, el nivel de deformación plástica causado por cada choque es más elevado, al tiempo que los fenómenos de micro-corte y formación de surcos, mecanismos identificados en la superficie de los materiales ensayados, son inhibidos. Para el caso del impacto rasante de las partículas, es favorecida la remoción de material por micro-corte [10]. Además, el acompañamiento por parte de la película de TiN de la deformación plástica debida a los impactos normales de las partículas permite que aunque exista la acción erosiva de las partículas, permanezca recubrimiento protector en la superficie del material, impidiendo la acción nociva de la solución corrosiva, principal fuente de pérdida de masa. Algunas evidencias del efecto benéfico de la deformación plástica en la protección de la superficie se presentan en la figura 16, en cual se observa cómo, debido a la deformación plástica, algunas picaduras previamente generadas por la solución corrosiva son cubiertas, inhibiendo el efecto corrosivo.

La hipótesis de la acción protectora debida a la deformación plástica causada por el choque de las partículas fue reforzada por el resultado de los ensayos de corrosión dinámica para diferentes velocidades. En estos ensayos, la pérdida de masa aumentó dramáticamente en función de la velocidad, como se muestra de manera representativa en la figura 15 para el acero AISI 304 sometido a impacto rasante de la solución corrosiva. Cuando no se adicionan partículas al flujo, la energía del líquido en movimiento no es suficiente para generar altos niveles de deformación y no ocurre el efecto de “alisado” de la superficie, observándose grandes pérdidas de masa asociadas a una intensa corrosión uniforme, estimulada por la agitación de la solución. Adicionalmente, estos resultados coinciden con los encontrados en un trabajo previo desarrollado

con los mismos materiales, en el cual se utilizaron técnicas electroquímicas (en vez de mediciones de pérdida de masa) para evaluar la resistencia a la corrosión-erosión [11] en función del ángulo y la velocidad de impacto.



**Figura 16.** Efecto benéfico de la deformación plástica en la protección de la superficie impactada

## 5. CONCLUSIONES

La adición de partículas duras al flujo tuvo, en algunos casos, un efecto benéfico sobre la respuesta de las superficies en comparación con la condición de corrosión dinámica, en especial bajo condiciones de impacto normal. Una hipótesis para explicar este fenómeno consiste en el efecto de la deformación plástica sobre la repasivación de la superficie.

El recubrimiento de TiN mejora tanto la respuesta mecánica como la química de las superficies de los aceros, siempre y cuando se garantice alta adherencia al sustrato. Un

recubrimiento con baja adherencia lleva a daños acentuados en el material, con la posibilidad de que las superficies se comporten inclusive peor que cuando no están recubiertas.

En superficies recubiertas con buena adherencia se observó una tendencia a mejorar la resistencia a corrosión-erosión bajo condiciones de impacto normal. Cuando la incidencia fue rasante, el desprendimiento de la capa fue más intenso.

En cuanto a la degradación superficial estudiada, en condiciones de corrosión-erosión se observó una combinación de los mecanismos de degradación observados para los casos de erosión y corrosión dinámica, es decir: micro-corte, formación de surcos, proas y cráteres, corrosión generalizada y corrosión por picadura. El acero AISI 420, tanto desnudo como recubierto, presentó en general las mayores pérdidas de masa, en especial bajo impacto normal.

- [1] Roco M.C., Wear mechanisms in centrifugal slurry pumps, Corrosion, Vol. 46, N° 5, 1990, 424-431
- [2] Peckner D., Bernstein I. M., Handbook of Stainless Steels, McGraw Hill Book Company, NY, 1977
- [3] Finnie, I., Some reflections on the past and the future of Erosion, Wear, 186-187, 1995, 1-10.
- [4] Hutchings, I. M. Tribology: friction and wear of engineering materials. Edward Arnold, Cambridge, 1992.
- [5] Zum Gahr K.H., Microstructure and wear of materials, Ed. Elsevier Science Publishing Company Inc., Holanda, 1987
- [6] Finnie I., Erosion of surfaces by solid particles, Wear, Vol. 3 (1960), 87-103
- [7] Tilly, G. P. A two stage mechanism of ductile erosion. Wear, 23, 1973.
- [8] Oka Y.I., Ohnogi H., Hosokawa T., Matsumura M., The impact angle dependence of erosion damage caused by solid particle impact, Wear 203-204 (1997), 573-579
- [9] Fan Aiming, Long Jinming, Tao Ziyun, An investigation of the corrosive Wear of

stainless steels in aqueous slurries, *Wear* 193 (1996), 73-77

[10] Toro A., Sinatora A., Tanaka D. K., Tschiptschin A. P., Corrosion-Erosion of Nitrogen Bearing Martensitic Stainless Steels in Seawater - Quartz Slurry, *Wear* 251 (2001), 1257-1264

[11] López, D., Mecanismos de corrosión-erosión en aceros inoxidables, Tesis de Maestría, Escuela de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2004

[12] MADSEN, B. W., “*Measurement of Wear and Corrosion Rates Using a Novel Slurry Wear Test*”, *Materials performance*, 26 (1987), 21-28