

PROCESOS DE NITROCARBURACIÓN COMO ALTERNATIVA AL CROMO DURO

NITROCARBURIZING PROCESS AS ALTERNATIVE TO HARD CHROME

Edgart Gonzàlez ⁽¹⁾, Núria Martí ⁽¹⁾

Resumen

En algunos sectores industriales los procesos con deposición de cromo presentan problemas de aceptación; este estudio comparativo pretende demostrar que tanto desde un punto de vista de resistencia mecánica como de resistencia a la corrosión, los procesos de nitrocarburation (en sales) pueden actuar como alternativa, manteniendo e incluso mejorando algunos aspectos, frente a los procesos de cromo duro.

Abstract:

In some industrial sectors chromium deposition processes have problems to be accepted, this comparative study aims to demonstrate that in terms of mechanical resistance and corrosion resistance, nitrocarburing processes (salt bath) may be used instead of hard chrome processes maintaining and even improving some properties.

1. Introducción

La nitrocarburation es un proceso extendido y conocido en que mediante la aportación de nitrógeno y su asociación con el carbono se forman nitruros de hierro y nitruros de los elementos de aleación del acero proporcionando excelentes propiedades mecánicas y, mediante oxidaciones controladas posteriores, altas resistencias a la corrosión.

Por su parte, el cromo duro es un proceso electrolítico que proporciona a las piezas una capa de cromo con reconocidas propiedades mecánicas y anticorrosivas y, además, permite devolver dimensiones originales a piezas que han sufrido pérdidas de medida por desgaste y/o operaciones de recuperación.

Los procesos de nitrocarburation, por su propia naturaleza de difusión y no deposición, no son una alternativa al cromo duro como proceso para recuperar dimensiones desajustadas pero, por el contrario, son una alternativa eficiente para mantener y mejorar características superficiales. Por esta misma característica de no deposición, los procesos de nitrocarburation eliminan la problemática de escamación y desprendimiento de capa.

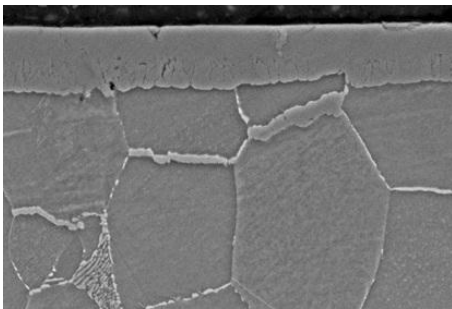


Foto 1

Ejemplo capa nitrocarburada x1000 (SEM)

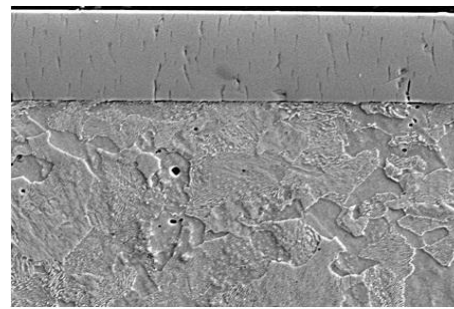


Foto 2

Ejemplo capa cromo duro x1000 (SEM)

Compararemos, entonces, las características mecánicas y anticorrosivas solicitadas industrialmente. No consideramos los parámetros de rugosidad ya que en ambos procesos se consiguen mediante operaciones de pulido posteriores y/o intermedias no siendo, por lo tanto, parte intrínseca de los procesos a comparar.

⁽¹⁾ Técnicas Superficies Catalunya, Barcelona, España

edgart.gonzalez@tscatalunya.com , nuriamarti@tscatalunya.com

2. Ensayo comparativo

2.1 Planificación Ensayo

2.1.1 Acero

Seleccionamos el material 45S20 (1.0727) estirado + rectificado como acero para realizar los ensayos, dado que los sectores con mayor potencial para interesarse en las conclusiones de esta comparación están actualmente utilizando aceros al carbono.

Composición química

0.42-0.50%C / <0.40%Si / 0.70-1.10%Mn / <0.06%P / 0.15-0.25%S

Características mecánicas

R_m : 740-980 MPa / $R_{p0.2}$ > 570 MPa / A > 5%

2.1.2 Cromado

Realizamos recubrimiento de cromo duro de gran espesor (30 μm) para minimizar la posibilidad de grietas que conecten con el material base.

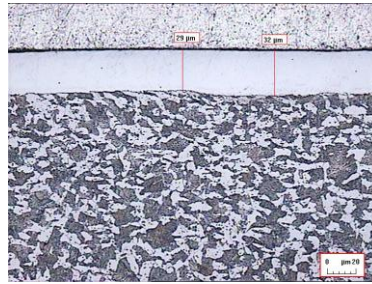


Foto 3
X500 (OM)

2.1.3 Nitrocarburation

Realizamos el tratamiento ARCOR V de HEF-DURFERRIT (20 μm) como proceso de nitrocarburation por sus excelentes propiedades ante situaciones de desgaste (gracias a la presencia de nitruros de hierro ϵ y γ' [Gráfico 1]), de corrosión (gracias a la transformación en Fe_3O_4 de la capa más externa formada) y por su gran capacidad de ser adaptado al tipo de pieza, tamaño productivo y condiciones de suministro.

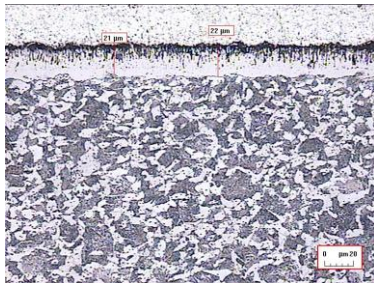


Foto 4
X500 (OM)

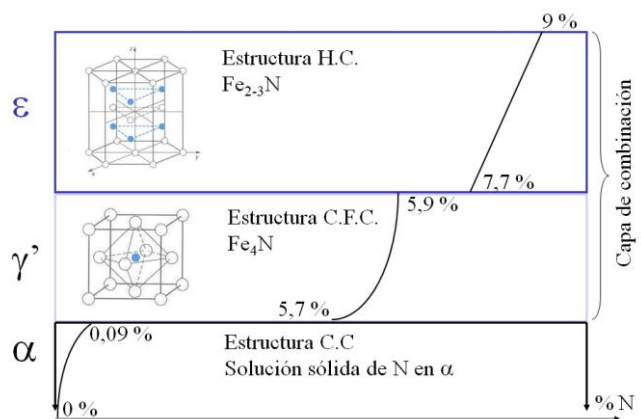


Gráfico 1
(distribución nitruros vs %N en Fe puro)

2.1.4 Ensayos

- Comparación metalográfica:
 - Espesor capa
 - Perfil dureza (HV0.1 hasta dureza núcleo)
 - Dureza superficial (HV1, HV5)
- Comparación resistencia mecánica ⁽²⁾:
 - Ensayo tracción
 - Ensayo flexión
- Comparación resistencia corrosión:
 - Ensayo niebla salina neutra
 - Ensayo niebla salina cobre-ácido acético ⁽³⁾

Todos los ensayos se han realizado sobre tres muestras de cada proceso.

2.2. Resultados Ensayo

2.2.1 Comparación metalográfica

Se preparan probetas metalográficas para realizar perfil de durezas y posteriormente se atacan con Nital 4% durante 5 seg. para determinar el espesor de capa mediante microscopía óptica (OM).

Las mediciones de dureza superficial se realizan directamente sobre las muestras con el tratamiento o recubrimiento correspondiente.

Equipos utilizados: Matsuzawa MHT-2 para HV con cargas ≤ 1 Kg
Akashi AVK para HV con carga de 5 Kg
Microscopio Union MCB84790

Resultados:

	Espesor capa (μm)	HV1 Superficial	HV5 Superficial
ARCOR V	18-22	439-446	460-473
Cromo Duro	29-32	555-565	376-381

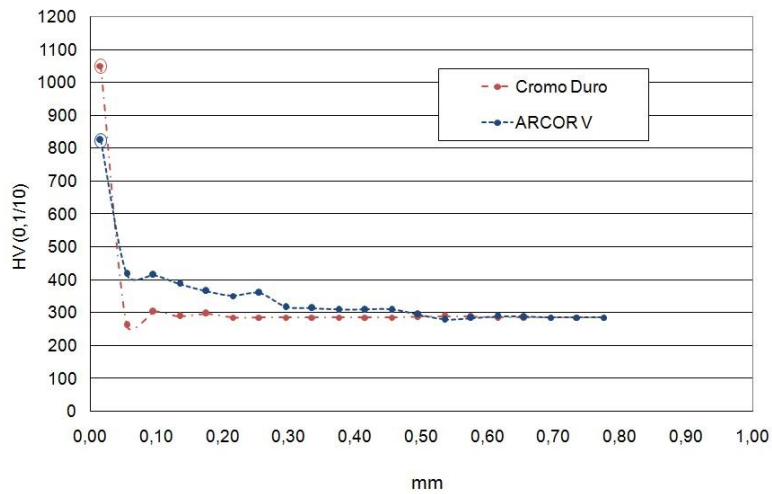
Tabla 1

Para realizar el perfil de (micro)durezas, utilizamos una carga de 100g/10seg pero debido a que los espesores de tratamiento / recubrimiento no permiten realizar una medida en estas condiciones en la propia capa, se realiza una primera indentación con una carga de 25g/10seg a 15 μm de la superficie; el resto de indentaciones se realizan a partir de 50 μm de la superficie.

Se ha medido y considerado como dureza de núcleo 285HV0.1

⁽²⁾ Ensayos realizados en *Fundació CTM Centre Tecnològic* (Manresa)

⁽³⁾ Ensayos realizados en *Pedro Roquet, S.A.* (Tona)



(Primer punto para cada curva medido con HV0.025)
Gráfico 2.
Perfil de durezas comparativo

Vemos que tal y como esperábamos a pesar de tener un mayor espesor de capa y mayor dureza de capa aportada en las muestras con Cromo Duro, la difusión que se consigue mediante el proceso de nitrocarburoación ARCOR V [Gráfico 1] se traduce en un endurecimiento significativo más allá de la propia capa aportada hasta una profundidad de 0.25mm ($HV \geq HV_{\text{núcleo}} + 50$).

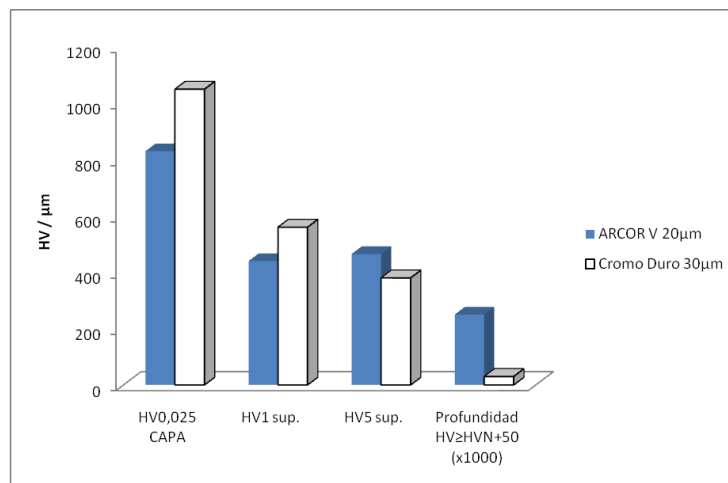


Gráfico 3

2.2.2 Comparación resistencia mecánica

2.2.2.1. Ensayo tracción (uniaxial)

Ensayo realizado según UNE-EN ISO 6892 (1) en probetas de $\varnothing 5^{+0.037/+0.101}$ a Tª ambiente.

Equipo utilizado INSTRON 5585H

Control de ensayo realizado a una velocidad de desplazamiento constante de 2.5mm/min

Se ha medido la carga mediante una carga integrada en la máquina de 250KN

Resultados:

	R _{p0.2} (MPa)	R _{inf} (MPa)	R _{sup} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)
ARCOR V	--	707	710	861	7,26
Cromo Duro	687	--	--	845	7,20

Tabla 2

Quedando representados en los gráficos [4 , 5] siguientes

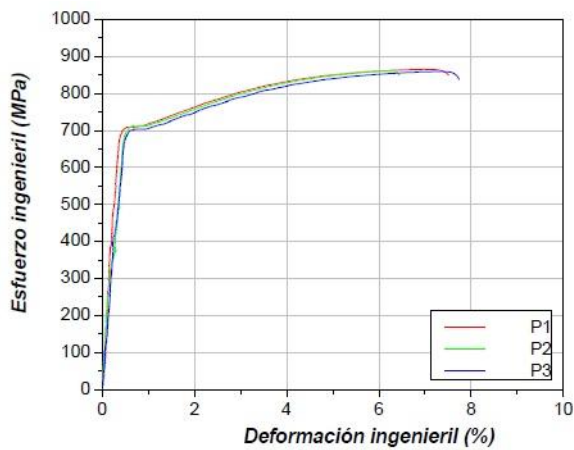


Gráfico 4

Ensayo tracción muestra ARCOR V

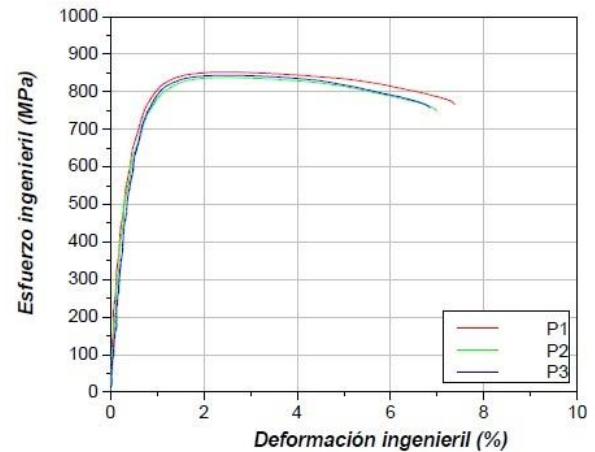


Gráfico 5

Ensayo tracción muestra Cromo Duro

Los valores obtenidos son ligeramente mejores para las muestras de ARCOR V que, a su vez, también presentan una menor desviación de resultados (límite elástico o inf. cedencia/resistencia a la tracción/ alargamiento %: 4/3/0.45 vs. 26/7/0.47)

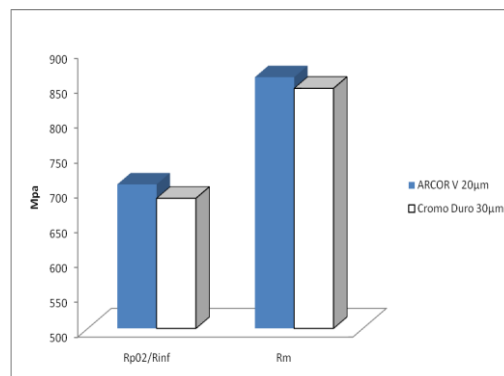


Gráfico 6

2.2.2.2 Ensayo Flexión (a tres puntos)

Ensayo realizado en probetas de longitud 75 mm x $\varnothing 10^{+0.005/-0.032}$ a Tª ambiente.

Equipo utilizado INSTRON 5585

El ensayo se ha realizado mediante útiles de flexión específicos montados con una separación de soportes (span) de 40 mm y un soporte central que ha aplicado la fuerza de ensayo.

Control de ensayo realizado a una velocidad de desplazamiento constante de 1mm/min

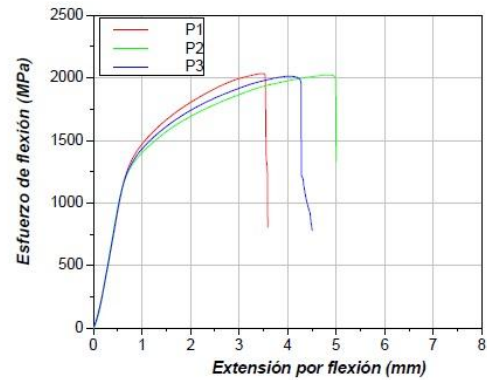
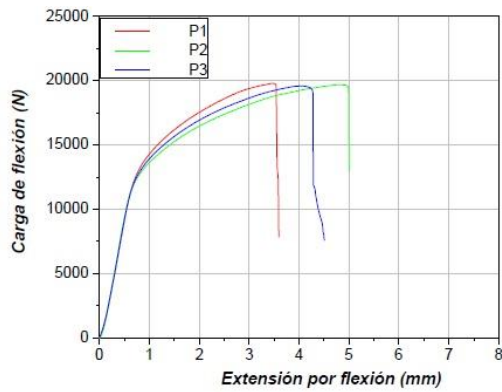
Se ha medido la carga mediante una carga integrada en la máquina de 200KN

Resultados:

	$F_{flexM\acute{a}x}$ (N)	$R_{flexM\acute{a}x}$ (MPa)
ARCOR V	19686	2023
Cromo Duro	19337	1968

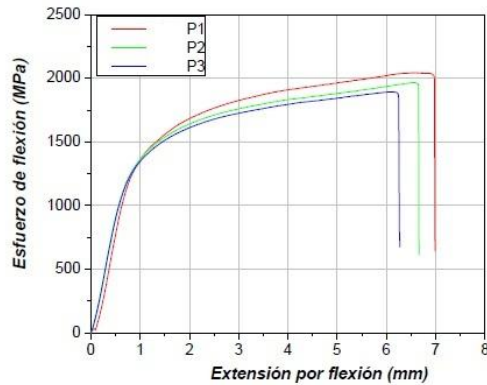
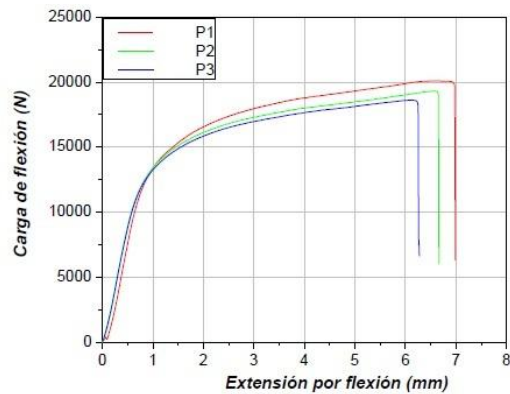
Tabla 3

Quedando representados en los gráficos [7 , 8] siguientes



Gráficos 7

Ensayo flexión muestra ARCOR V



Gráficos 8

Ensayo flexión muestra Cromo Duro

Todas las muestras se doblaron antes de romper mediante una fractura dúctil.

La evaluación de los resultados son totalmente parejos a los del ensayo de tracción; ligera mejora general de los valores obtenidos en las muestras de ARCOR V y con una menor desviación entre ellos (carga máxima soportada a flexión / resistencia flexión: 96/11 vs. 740/75)

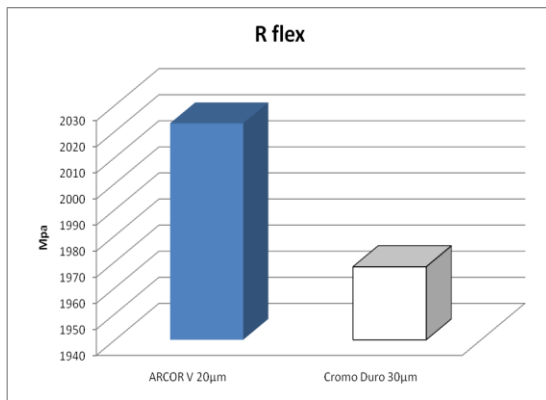


Gráfico 9
Resistencia a flexión

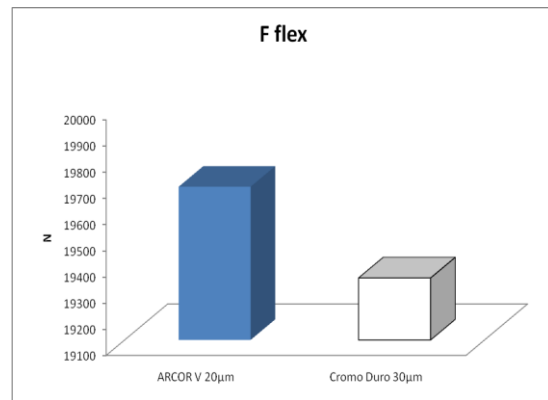


Gráfico 10
Carga máxima soportada a flexión

2.2.3 Comparación resistencia a la corrosión

En ambos casos se realiza una evaluación final según EN ISO 4628 que a pesar que no ser una norma específica para estos procesos es una norma habitualmente utilizada en los sectores de interés.

2.2.3.1 Ensayo niebla salina neutra

Ensayo realizado según UNE EN-ISO 9227 en muestras cilíndricas de Ø10

Equipo utilizado Cámara Niebla Salina SSC-400

	Fin ensayo	% superficie oxidada (al finalizar ensayo)	Evaluación s/EN ISO 4628
ARCOR V	408h	0%	Ri0 (408h)
Cromo Duro	72h	3-5%	Ri4 (72h)

(Exploración muestras cada 24h)

Tabla 4

Los resultados obtenidos en las muestras de ARCOR V son claramente muy superiores a los obtenidos en las de Cromo Duro.

En las muestras de ARCOR V no se aprecia ningún punto de corrosión antes ni después de lavar las mismas, mientras que en las muestras de Cromo Duro se aprecia una corrosión aparente >30% antes de lavar que se traduce en 3-5% una vez lavadas las piezas para inspección final.

No se aprecian diferencias significativas entre las muestras de cada proceso entre si. Para las muestras de ARCOR V ninguna de ellas presenta puntos de corrosión y para las de Cromo Duro todas ellas presentan alta corrosión aparente antes de lavar y, después de lavar las piezas con agua a Tª ambiente y la ayuda de un paño humedecido, se revelan picaduras superficiales y puntos de corrosión roja no generalizados.

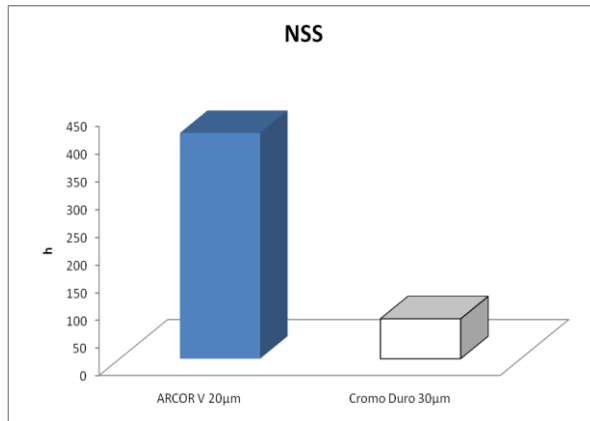


Gráfico 11



Foto 5
ARCOR V después de 408h NSS
(muestras limpias)



Foto 6
Cromo Duro después de 72h NSS
(muestras limpias)

2.2.3.2 Ensayo niebla salina cobre-ácido acético

Ensayo realizado según ASTM B-368 hasta 64h en muestras cilíndricas de Ø10

Equipo utilizado Cámara Niebla Salina SSC-400

	% superficie oxidada (a las 64h)	Evaluación s/ EN ISO 4628
ARCOR V	0-3%	Ri3 (64h)
Cromo Duro	0%	Ri0 (64h)

(Exploración única al finalizar ensayo, 64h)

Tabla 5

Los resultados obtenidos en las muestras de Cromo Duro son ligeramente mejores a los obtenidos en las muestras de ARCOR V.

En muestras de ARCOR V se realiza la inspección directa mientras que en las muestras de Cromo Duro se aprecia una corrosión aparente del 90% antes de lavar las muestras que se traduce en 0% una vez lavadas las piezas para inspección final.

Tampoco se aprecian diferencias significativas entre las distintas muestras de un mismo proceso. Las muestras de ARCOR V presentan 0, 1 y 3% de superficie oxidada respectivamente y no se considera adecuado su lavado. Por su lado, las tres muestras de Cromo Duro presentan una corrosión aparente generalizada al finalizar el ensayo y, después de lavar según EN ISO 10289, no muestran signos evidentes de corrosión en inspección visual.

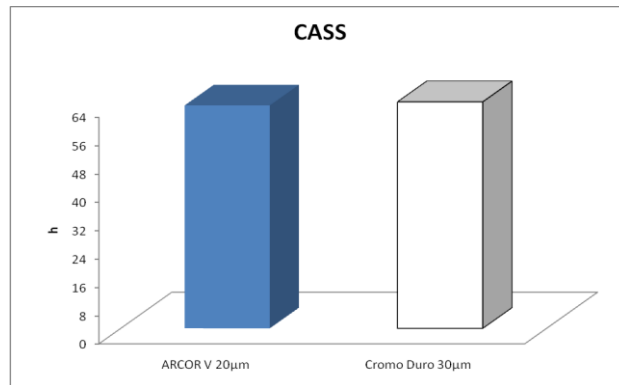


Gráfico 12



Foto 7
Probetas ARCOR V después de 64h CASS
(muestras sin limpiar)



Foto 8
Probetas Cromo Duro después de 64h CASS
(muestras limpias)

3. Conclusiones

En todos los ensayos realizados, ARCOR V, a pesar de haber sido comparado con un menor espesor de capa consigue resultados parejos al cromo duro y, en términos de resistencia a la corrosión en niebla salina neutra, sustancialmente mejores.

Obtenemos una resistencia mecánica ligeramente superior y mayor capacidad de deformación plástica; ambas características junto a la mayor profundidad de endurecimiento podrán ser responsables de la mayor durabilidad de la pieza ante situaciones de trabajo más exigentes.

En general, los resultados de esta comparación, los bajos coeficientes de fricción, la alta resistencia a la fatiga, las características no escamantes de la capa y la consideración que la nitrocarburoación en baño de sales es de carácter respetuoso con el medio ambiente [5.IV] en comparación con otros procesos de nitrocarburoación, convergen en permitir afirmar que ARCOR V de HEF-DURFERRIT es una alternativa eficiente para sustituir los procesos de cromo duro en aquellos sectores en los que por cuestiones políticas de aceptación o por cuestiones de desprendimiento debe ser definido un proceso sustitutivo del actual.

4. Agradecimientos

Aprovechamos esta oportunidad para agradecer a la empresa PEDRO ROQUET,S.A. su colaboración y experiencia para realizar los ensayo niebla salina cobre-ácido acético (CASS) y, igualmente, a IREIS (Institut de Recherches en Ingénierie des Surfaces) por su apoyo y colaboración.

5.Referencias

- (I) B.GRELLET - Oxynitrocarburization process with post-oxidation (1998)
- (II) E.GONZALEZ,R.CAILLE – Tecnología CLIN de HEF. La alternativa a medida para solucionar problemas superficiales (2010)
- (III)D.GHIGLIONE,C-LEROUX – Nitration, nitrocarburization et derives (1996)
- (IV)J. BUCHGEISTER, A.FRITZCHE, G.HORVATH, A.WITTKOWSKY – Härtereit Technische Mitteilungen 56 (2001) 30 – 35
- (V) M.L.BERNSTEIN, V.A.ZAIMOVSKY – Mechanical properties of metals (1983)
- (VI) J.BARRAILS, G.MAEDER – Métallurgie. Élaboration, structures- propriétés, normalisation (1997)