

El tratamiento de QPQ en el mejoramiento mecánico y químico de los aceros para moldes de plástico: caso de AISI P20

Fecha de recepción: 19/07/2010

Fecha de aceptación: 20/07/2010

Rónald Jiménez Salas ¹

Palabras clave

QPQ, tratamiento termoquímico, aceros, tratamientos superficiales, nitruración.

Por último, los resultados muestran valores de dureza y espesores de capa acordes con los esperados para este tipo de aceros de baja aleación.

Resumen

El QPQ es un tratamiento termoquímico aplicado principalmente a las aleaciones ferrosas y de níquel para mejorar su comportamiento mecánico y su resistencia a la corrosión. En este artículo se presentan los primeros resultados del proyecto de la validación de las propiedades de los aceros de herramientas para la industria de procesamiento de plásticos en Costa Rica, obtenidas al aplicarle el tratamiento termoquímico de QPQ, y particularmente los resultados de durezas y espesores de capa obtenidos en aceros AISI P20.

Para el desarrollo de la investigación, se prepararon probetas pulidas y se trataron a diferentes tiempos; luego, se realizaron estudios metalográficos y de microdureza para caracterizar las propiedades obtenidas.

Key words

QPQ, Nitriding, Heat treatment, AISI P20 steel.

Abstracts

The QPQ is a heat treatment used on steel and Nickel alloys to improve superficial mechanical and corrosion resistance properties. This article offers the firsts results of the project about the validation the properties of tool steel, mainly used for the plastic industry in Costa Rica, that are form when applying different conditions of nitriding and QPQ treatment, particularly the micro hardness and superficial layers of AISI P20 tool steel.

For this research was made samples, polished a processed with different time

1. Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales Instituto Tecnológico de Costa Rica. Teléfono: (506) 2550-2781. Correo electrónico: rjimenez@itcr.ac.cr

of nitriding and QPQ process. After was made the characterization used optical metallography, electronic microscope, EDX Analysis, and Micro hardness.

Finally, the results gives good properties (hardness and superficial layers) for the AISI P20 when was processed with nitriding and QPQ treatment.

Introducción

El tratamiento termoquímico de nitruración es un proceso mediante el cual se difunde nitrógeno en el interior de un material metálico, principalmente en aleaciones de hierro y níquel, con el objetivo de que este reaccione con algunos elementos presentes en la composición del metal, lo que genera una capa superficial con propiedades mecánicas y químicas mejoradas.

La presencia de estos nitruros acrecienta en el material metálico su dureza superficial, lo que mejora considerablemente su resistencia al desgaste, sin dejar de lado su mejora en la resistencia a la fatiga y a la corrosión.

Una ampliación de este proceso es la introducción –posterior a la nitruración del material– en otro baño de oxidación, con el objetivo de oxidar superficialmente la capa ya formada y mejorar, aún más, su resistencia a la corrosión. Un proceso patentado es el QPQ (del inglés *quench-pulish-quench*), en el cual, luego del tratamiento de oxidación, el material se somete a una etapa intermedia de pulido.

En Costa Rica, el proceso de nitruración en baño de sales fue introducido a finales de los años setenta por el Ciemtec; por muchos años, se le ha brindado servicio de tratamiento a una gran cantidad de empresas públicas y privadas. Mientras que el proceso QPQ fue adaptado por el Ciemtec a finales de los años noventa ante una solicitud de una empresa metalmecánica nacional. Esta entidad inició un negocio de exportación en el cual, mediante operaciones de

mecanizado, se elaboraban piezas de una aleación de níquel, conocida como inconel, y que estaban encaminadas a suplir ciertos componentes de la industria petrolera.

Una de las etapas del proceso de fabricación comprendía un tratamiento termoquímico de QPQ que en ese momento solo se podía realizar en Estados Unidos, lo cual incrementaba los costos y los tiempos del proceso, pues debía exportarse y reimportarse para darle una etapa final en Costa Rica. Como el Ciemtec ya poseía la primera etapa de nitruración en sales, se procedió a transformar un horno donde se le pudiese aplicar la segunda etapa de oxidación; se realizaron las adaptaciones y pruebas requeridas, y el proceso se puso en marcha con la aprobación del cliente final de las piezas. Esta ha sido una ejemplar alianza entre una empresa nacional y un centro de investigación universitario, lo que ha dado muchos beneficios a ambas partes.

A lo largo del tiempo, más empresas han solicitado el tratamiento para otro tipo de materiales, como aceros de bajo carbono, aceros de baja aleación y aceros de herramientas, con éxito en la valoración cualitativa del comportamiento del material, en la mayoría de los casos.

En la Escuela se han hecho algunas determinaciones específicas sobre los resultados del tratamiento, sobre todo en el Inconel y a otros aceros, pero solo aplicándole el tratamiento de nitruración; sin embargo, no se conoce a profundidad cómo se verán la composición y propiedades de la capa, alterando las condiciones operativas, particularmente aplicándole el tratamiento de post oxidación. Por otro lado, se han realizado bastantes estudios a escala mundial sobre la influencia de la nitruración diversos metales, los cuales servirán de base para comparar los resultados obtenidos.

La crisis mundial obliga a los países a buscar alternativas más económicas en la

La presencia de estos nitruros acrecienta en el material metálico su dureza superficial, lo que mejora considerablemente su resistencia al desgaste, sin dejar de lado su mejora en la resistencia a la fatiga y a la corrosión.

solución a los problemas, con el fin de abaratar costos y poder competir en el mundo globalizado; por lo tanto, conocer las características de los materiales en procesos alternativos, como el QPQ, podría propiciar opciones de sustitución más económicos al utilizar aceros de menor costo, que al tratarlos puedan sustituir otro materiales más costosos, sobre todo en un campo tan competitivo como la industria de moldes para el procesamiento de materiales poliméricos, así como el mejor aprovechamiento de los recursos mediante una mayor durabilidad de estos.

Igualmente, se pueden obtener otros beneficios, pues en un país como el nuestro las empresas metalmeccánicas, constructoras de repuestos, siempre están en la búsqueda de materiales que puedan sustituir repuestos costosos y, en algunos casos, por la antigüedad del elemento, no se pueden conseguir. Solo si se conocen las prestaciones que puedan proporcionar este tratamiento se podrán dar respuestas concretas a tales necesidades.

Estado del arte

La nitruración es un tratamiento termoquímico aplicado a las aleaciones ferrosas para incrementar su resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga y resistencia a la corrosión; esto último, sobre todo cuando se combina con un tratamiento de post oxidación.

La nitración se realiza, como ya se mencionó anteriormente, al difundir nitrógeno dentro del material, que al combinarse con el hierro y otros elementos presentes en el material, forma una capa superficial constituida de nitruros, los cuales le aportan al material una gran dureza. El nitrógeno puede provenir de diferentes fuentes, como puede ser la descomposición del amoniaco (nitruración gaseosa), la nitruración iónica o de un baño de sales fundidas (nitruración en baño de sales).

En el caso del la nitruración en baño de sales, se utilizan sales constituidas por cianatos alcalinos y carbonatos alcalinos, que se trabajan a una temperatura de 580 °C. En la operación convencional, las piezas se precalientan y luego son introducidas en baño de sales, donde se mantienen durante un periodo de aproximadamente una hora y media; luego, se enfrían hasta la temperatura ambiente. Cabe mencionar que este proceso es una patente de la compañía alemana Hef-durferrit y se denomina proceso Tufftride.

Una de las grandes posibilidades que presenta este proceso, y que lo hace competir de manera ventajosa con otros como el recubrimiento con el cromo duro, son las buenas propiedades que se logran a un menor costo, lo cual lo hace atractivo para muchos componentes de uso industrial. También resulta benéfico con respecto a la nitruración gaseosa en el tiempo requerido en ambos procesos, ya que el gaseoso ocupa mucho más tiempo para lograr la misma capa. Adicionalmente, la nitruración en baño de sales resulta de más fácil control de los aspectos operativos del proceso.

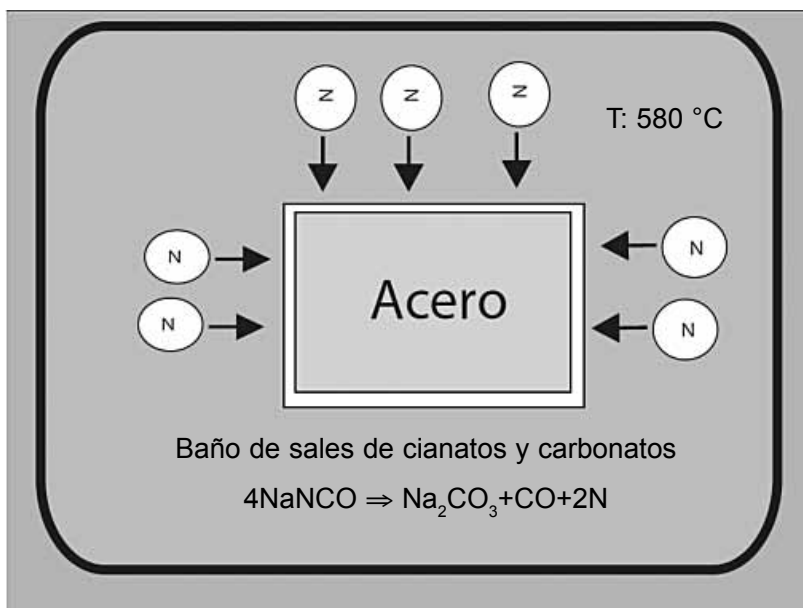


Figura 1. Esquema de difusión de nitrógeno en acero.

Con respecto a otros procesos superficiales, como el cementado, presenta ventajas, ya que las temperaturas del proceso de nitruración son más bajas que las del cementado, el cual se lleva a cabo a temperaturas superiores a 900 °C, lo cual implica una menor posibilidad de distorsión (curvado y torcido durante el temple); también se prescinde de la necesidad de realizar el revenido del material. Por otro lado, tiene la desventaja que en aceros no aleados y de bajo porcentaje de carbono, como es el caso de muchos de los aceros usados en cementación, no se alcanzan la dureza ni los espesores de capa que sí se obtienen en el cementado.

Otros beneficios adicionales que se le pueden sumar al proceso de nitruración están relacionados con el calentamiento, el cual puede aliviar tensiones en materiales provenientes de procesos de mecanizado o conformado mecánico; la no afectación el tamaño de grano, ya que la temperatura del proceso se da en el campo ferrítico; la reducción o eliminación del tiempo de mecanizado final, pues el proceso provoca poco cambio de volumen y la reducción

del desperdicio por el requerimiento de sobre espesor, dado el efecto de distorsión que algunas veces se origina en procesos de mayor temperatura, como el temple o el cementado; finalmente, el proceso incrementa la limpiabilidad y estabilidad dimensional.

Con respecto a las propiedades obtenidas después de la aplicación del proceso de nitruración, se puede mencionar que dependiendo de la composición del acero, así va a ser la constitución de la capa superficial, sobre todo si en el material hay presencia de elementos formadores de nitruros, como el aluminio, el cromo, el molibdeno, el vanadio y el tungsteno.

Las capas nitruradas inician por medio de una serie de áreas de crecimiento nucleado y van creciendo con el tiempo. Están constituidas por dos zonas principales denominadas capa compuesta y capa de difusión. La presencia de la fase épsilon ($Fe_{2-3}N$ y FeC) en la constitución de la capa compuesta (capa blanca) es la que proporciona, principalmente, una alta dureza y, por lo tanto, mayor resistencia al desgaste, así como una mejora considerable al gripado; esta capa no difunde al interior del acero y permanece en la región más externa. La capa de difusión se forma por la propagación del nitrógeno al interior de acero y está conformada principalmente por la fase gamma (Fe_4N) y se observa como agujas. El incremento de la resistencia a la fatiga se debe al efecto de la zona de difusión y es dependiente del material base.

El porcentaje de carbono presente en el acero tiene su influencia en el crecimiento de las dos capas; un mayor porcentaje de carbono favorece el crecimiento de la capa compuesta, mientras que un bajo porcentaje de carbono beneficia la formación de la capa de difusión.

Con respecto a la dureza de la capa, se sabe que esta también va a depender de la composición de los aceros utilizados y

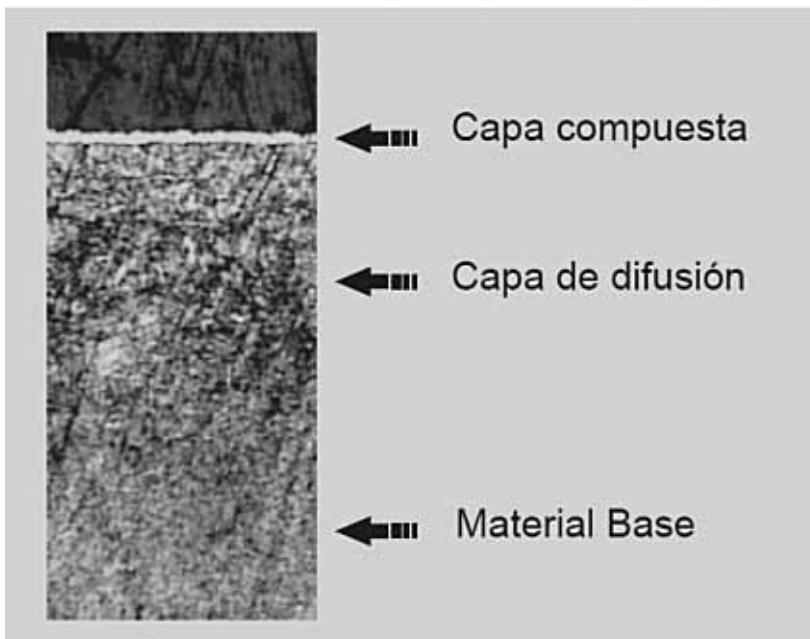


Figura 2. Capa compuesta y de difusión obtenidas por nitruración.

va a variar entre unos 500 HV para aceros no aleados y unos 1700 HV en aceros con mayores contenidos en elementos de aleación.

Una ampliación de este proceso fue la incorporación de una etapa de oxidación posterior a la nitruración, con el objetivo de mejorar aún más la resistencia a la corrosión; esta se combina con etapas de pulido para mejorar la rugosidad superficial. Lo anterior se denomina proceso QPQ (*Quench-Pulish-Quench*) y la secuencia de realización se muestra en la figura 3.

El proceso QPQ se ha evaluado sobre todo con respecto a la resistencia a la corrosión, y se compara con otros procesos aplicados para proteger los materiales de la corrosión, como el cromado. Particularmente, se han encontrado análisis solo para aceros no aleados de mediano carbono, en los cuales se muestra el incremento de la resistencia sobre material sin tratar y tratado al

exponerlo a ensayos controlados de niebla salina, donde se evalúa el porcentaje de área atacada por corrosión, y mediante el ensayo de inmersión total, se determina la pérdida de peso, pero no para aceros de baja aleación.

Metodología aplicada

Para este estudio se prepararon probetas de acero AISI P20, compradas en el mercado nacional y cuya composición normalizada se muestra en el cuadro 1.

Estas probetas se cortaron cuidadosamente para evitar sobrecalentamientos que modificaran la estructura cristalina, y se pulieron hasta la lija 600; luego, se identificaron: un primer grupo se sometió a diferentes tiempos de nitruración, en intervalos de 0,5 horas hasta las 4,5 horas, y un segundo grupo se trató durante un tiempo de nitruración de 1,5 horas y se

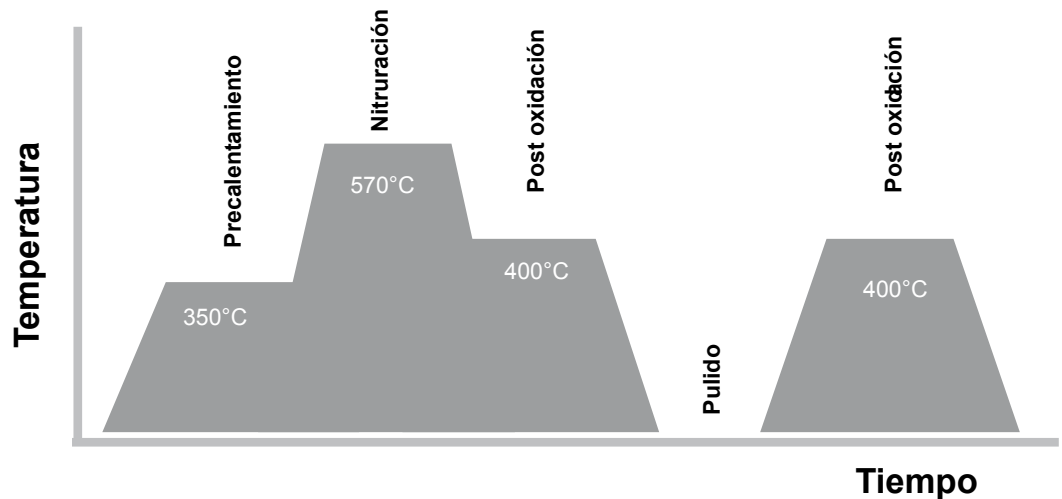


Figura 3.

Cuadro N.º 1. Composición química del acero AISI P20

Acero	Análisis Químico (%)							Dureza HV
	C	Si	Mn	Cr	Mo	S (max)	P (max)	
AISI P20	0,28-0,40	0,10 -0,40	0,60-1,00	1,40-2,00	0,30-0,55	0,008	0,008	310-350

variaron los tiempos de tratamiento de post oxidación entre 0,5 y 3 horas.

Posterior a los tratamientos, las probetas fueron seccionadas en tres: una parte se utilizó para realizar los estudios de dureza superficial y barrido transversal de dureza; otra se montó en resina termo endurente para verificar los espesores de capa logrados, así como la estructura alcanzada; la tercera probeta se destinó a estudiar, por medio de microscopia electrónica, la composición de las capas.

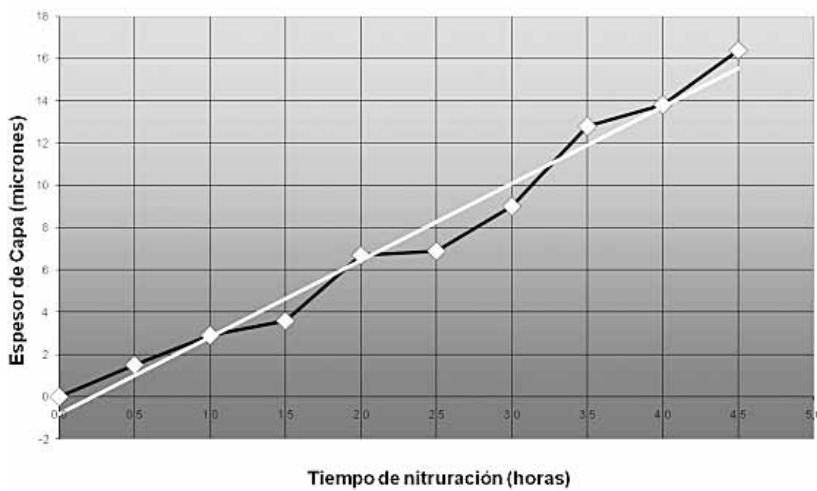


Gráfico 1. Espesores de capa compuesta al variar el tiempo de nitruración en un acero AISI P20.

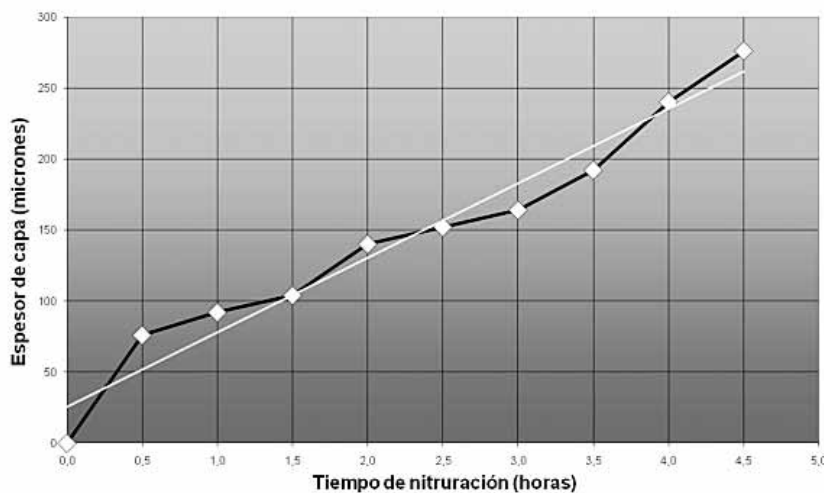


Gráfico 2. Espesores de capa de difusión al variar el tiempo de nitruración en un acero AISI P20.

Este estudio de aceros de herramientas para la industria del plástico se encuentra en la etapa de desarrollo, por lo que no se han incluido las pruebas de corrosión y tribológicas.

Resultados

Los resultados obtenidos para el acero AISI P20 con respecto a los espesores de cada compuesta y de difusión se muestran en el gráfico 1 y 2 y en la figura 4.

Como se observa en el gráfico 1 y 2, el crecimiento de capa sigue una tendencia bastante lineal, tanto para la capa compuesta como para la capa de difusión. En relación con la capa compuesta, se logran espesores de capa consistentes con los valores reportados en la bibliografía para aceros con bajo porcentaje de elementos aleantes y mediano porcentaje de carbono, como son los AISI P20, que están entre 16 y 18 micrones para tiempo de 4,5 horas.

Para el caso de la capa de difusión, no hay información específica del acero P20, pero en general sí se reporta que existe y se produce una gran variación de los espesores de la capa total, sobre todo de la capa de difusión, según la variación de la composición del acero. Los aceros muy aleados presentan capas de difusión más pequeñas, y los menos aleados, capas más profundas.

Para aceros de baja aleación podrían esperarse composiciones de capa total cercana a 400 micrones, con 4,5 horas de tratamiento; sin embargo, los valores determinados son ligeramente más bajos. Una posible causa de esta variación es la dificultad para identificar la zona final de la capa de difusión, pues a medida que se va en profundidad, se hace menos visible por la menor presencia de nitrógeno en la composición de la capa.

En lo que respecta a la dureza, el gráfico 3 muestra la dureza superficial al variar el tiempo de nitruración. En este se puede

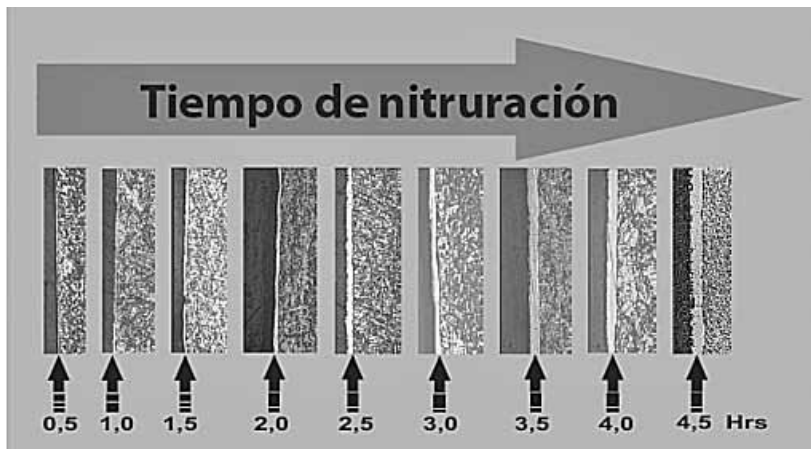


Figura 4. Evolución de espesor de capa compuesta al aumentar el tiempo de nitruración en un acero AISI P20.

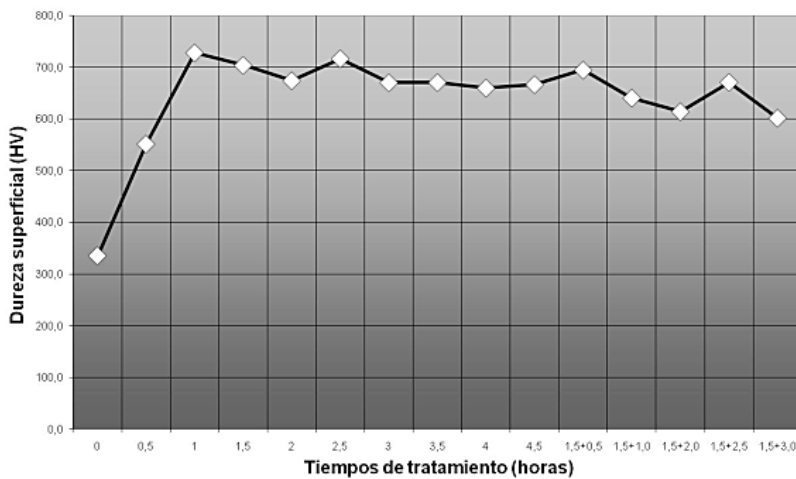


Gráfico 3. Dureza superficial de aceros sometidos a nitruración y QPQ en un acero AISI P20.

establecer que en la primera hora de tratamiento se alcanza la dureza superficial cercana a 700 HV, que es ligeramente superior al valor reportado en teoría para aceros de composición cercana al AISI P20, la cual es de aproximadamente 650 HV, y permanece en un valor bastante constante al incrementar los tiempos de tratamiento.

Por otro lado, se puede ver que para el segundo grupo de probetas a las que se les mantuvo constante el tiempo de nitruración

en 1,5 horas y se les varió el tiempo del tratamiento de post oxidación no hubo un efecto apreciable de este tratamiento sobre la dureza superficial del material.

En el perfil de dureza realizado sobre la muestra con un tiempo de tratamiento de 4,5 horas se observa que la capa compuesta presenta una dureza de 739 HV y hay un pequeño incremento en la zona de transición entre las dos capas. La capa de difusión muestra un valor constante de dureza hasta los 35 μm de 644 y luego descendiendo hasta los 549 HV a espesores de 90 μm , para luego seguir descendiendo hasta alcanzar un valor de dureza del material original que ronda los 300 HV.

En la composición de la capa compuesta y de la zona de transición realizada por medio del EDX, se puede ver la presencia de los elementos fundamentales de la capa, como lo son el nitrógeno y el carbono, que forman, conjuntamente con el hierro y el cromo, los nitruros y el carburo de hierro responsables de la dureza superficial que se logra en este acero.

Conclusiones

Los primeros resultados del proyecto de validación de las propiedades mecánicas y químicas obtenidas al tratar termoquímicamente aceros para la industria de procesamiento de plásticos revelaron que el acero AISI P20 muestra que los espesores de capa crecen linealmente hasta alcanzar valores de 18 micrones para 4,5 horas, para la capa compuesta, y unos 275 micrones para la capa de difusión, lo cual es consecuente con aceros con composiciones cercanas.

Con respecto a los valores de dureza superficial, están muy acordes con los esperados para un acero de bajo porcentaje de elementos de aleación y de carbono; así, estos rondan los 700 HV, lo cual corresponde a aproximadamente 60 HRC. También se determinó que el tratamiento de post oxidación no tiene un efecto sobre

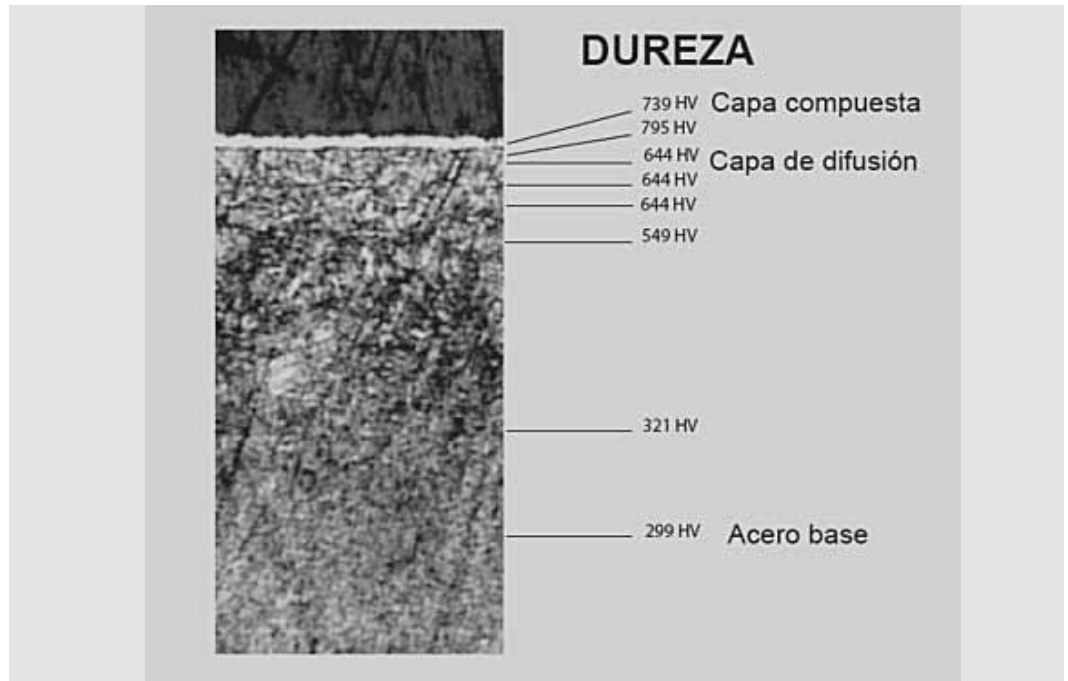
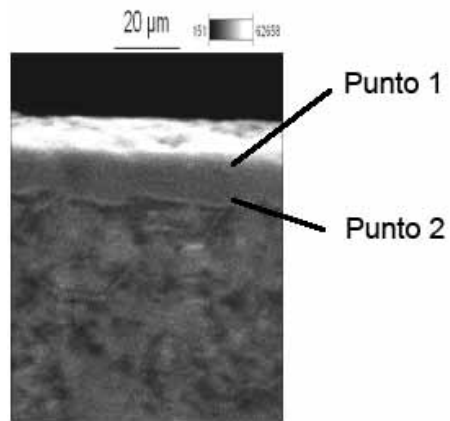
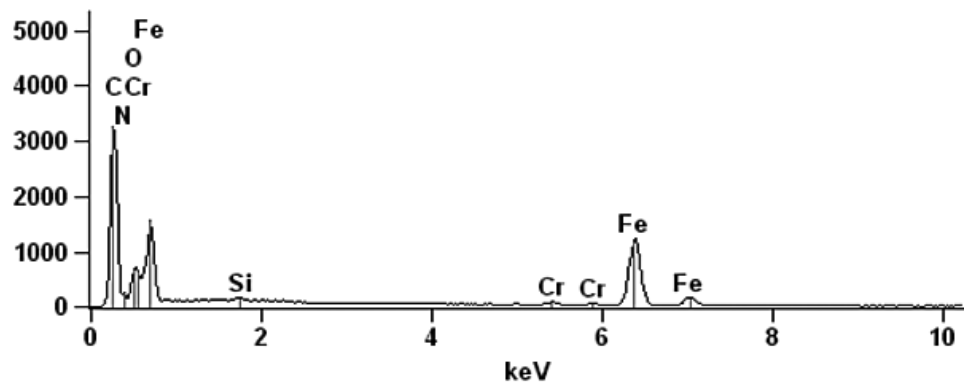


Figura 5. Perfil de dureza de acero AISI P20 al nitrurarlo durante 4,5 horas.



Full scale counts: 3252

#5(32)_pt1



Full scale counts: 2694

#5(32)_pt2

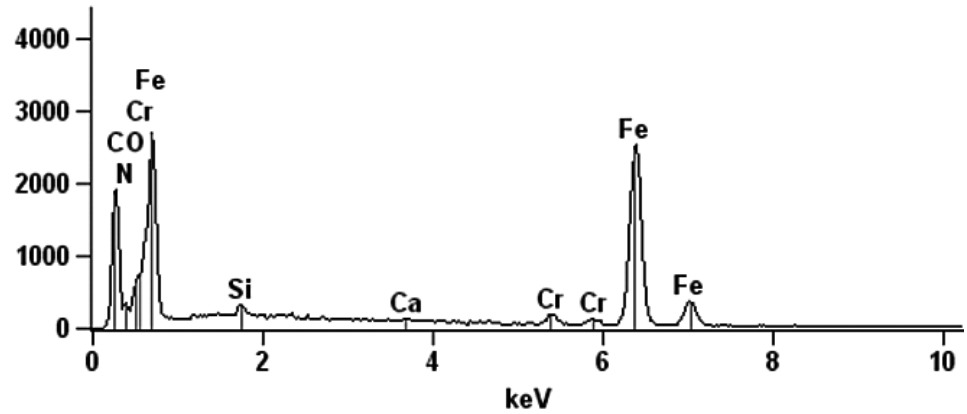


Figura 6.

la dureza superficial del acero lograda en el tratamiento de nitruración.

Bibliografía

Boßlet, Joachim, Kreuz Michael. *Tufftride®-QPQ®-Process*. Hef Dufferrit Corporation.

Bodycote, *Thermal Processing – Melonite / QPQ®*

Córdoba Valencia, Sheila. *Nitruración gaseosa de aceros SAE 4340, SAE 4140, SAE O1 y SAE 1045*.

Easterday, James R. P.E. *Liquid Ferritic Nitrocarburizing*. Kolene Corporation.

Pye, David (2003). *Practical nitriding and ferritic nitrocarburizing*. ASM Intenacional, USA.

Wanke; Klaus; Schramm, Klaus (1972). *Temple de acero*. Editorial Aguilar, Madrid, España