

Evaluación de durezas mediante el proceso de nitruración gaseosa en aceros SAE 1045, SAE 4140 y SAE 4340

Evaluation of hardness by gas nitriding process in steel SAE 1045, SEA 4140 and SAE 4340

Alexander Vega Anticona¹ | Ricardo Neyra Casana² | Malena Campos Alfaro³

RESUMEN

En el presente trabajo, se investigó el efecto del tiempo de nitruración por gases a 560°C, sobre el endurecimiento superficial, profundidad de endurecimiento y dureza del núcleo de los aceros SAE 4340, 4140 y 1045, en esta investigación se utilizaron probetas de 2.54 cm. de diámetro y 5 cm. de longitud en un número total de 54. Las probetas de acero SAE 1045 fueron austenizadas a la temperatura de 860°C por espacio de 1 hora, revenidas a la temperatura de 500 °C durante 2 horas previos al proceso de nitruración. De los resultados obtenidos se determinó que el incremento del tiempo de nitruración en el rango de 5 a 15 horas, incrementa el espesor de capa de nitruros y por consiguiente la dureza superficial de todas las muestras ensayadas, siendo mayor el efecto para el tiempo de 15 horas. Para el acero SAE 1045 se alcanzó una dureza superficial de 454.2 HV y 36.6 µm. de espesor de capa de nitruros. Para el SAE 4140 se obtuvo 532 HV y 28.1 µm. de espesor de capa de nitruros. Por ultimo para el acero SAE 4340 se obtuvieron valores máximos a esta temperatura de 580.9 HV de dureza superficial y 27.5 µm. de espesor de capa de nitruros, lo anteriormente dicho se confirmó mediante un análisis microestructural y toma de durezas a través de la sección transversal de las muestras evaluadas.

Palabras Clave: Nitruración gaseosa, Perfil de durezas, Espesor de capa de nitruros

ABSTRACT

In this paper, the effect of nitriding time was investigated by gas at 560 ° C on the surface hardening, hardening depth and core hardness of steel SAE 4340, 4140 and 1045, this research specimens 2.54 cm were used. in diameter and 5 cm. length in total number of 54. The SAE 1045 steel specimens were austenized temperature of 860 ° C for 1 hour, tempered at a temperature of 500 ° C for 2 hours prior to the nitriding process. From the results it was determined that increasing nitriding time in the range of 5 to 15 hours, increasing the thickness of nitride layer and thus the surface hardness of all samples tested, the effect being greater for the time 15 hours. For SAE 1045 steel surface hardness HV 454.2 and 36.6 microns was reached. thick nitride layer. For the SAE 4140 532 HV and 28.1 microns was obtained. thick nitride layer. Finally SAE 4340 steel for maximum values were obtained at this temperature of 580.9 HV surface hardness and 27.5 microns. thick nitride layer, as previously stated was confirmed by an analysis and decision microstructural hardness across the cross section of the samples evaluated.

Key words: Gas nitriding, Hardness profile, Nitride layer thickness

I. INTRODUCCIÓN

La industria metal mecánica, automotriz y de plástico hace uso de diversas variedades de aceros para la fabricación de sus múltiples componentes. Dependiendo del uso a que va a estar sometido dicho componente, se realiza la selección del acero y el tratamiento térmico posterior a ser aplicado y así, proporcionarle las propiedades necesarias para prolongar su vida útil¹. Entre los tratamientos aplicados a los aceros destacan los tratamientos térmicos y termoquímicos. En lo que respecta a los tratamientos térmicos, el acero es sometido a un ciclo de calentamiento y enfriamiento, con la finalidad de proporcionarle una microestructura apropiada que le permita ciertas propiedades mecánicas, tales como dureza, tenacidad, etc.; requeridas para su uso. Cuando un componente requiere de una alta dureza superficial unida a un núcleo de alta tenacidad, se hace uso de los tratamientos termoquímicos². El objetivo de los tratamientos termoquímicos es proporcionar un endurecimiento superficial a los aceros, mediante la modificación parcial de su composición química en las secciones que se desea endurecer, seguido, algunas veces, de un tratamiento térmico apropiado³. Mediante este tratamiento se llega a obtener una alteración microestructural, resultando en un incremento en la dureza superficial, al mismo tiempo que el núcleo permanece tenaz⁴. Uno de los más usados tratamientos termoquímicos realizados a nivel nacional es la nitruración por gases, que consiste en el enriquecimiento superficial de nitrógeno en el acero, cuando es calentado convenientemente en contacto con un gas nitrurante. Se puede o no aplicar un tratamiento post nitruración, el cual juega un papel decisivo en la microestructura final del acero nitrurado⁵. La obtención de una óptima profundidad de capa nitrurada, así como buenas propiedades de tenacidad y dureza en las zonas nitruradas, son función de la temperatura y tiempo de tratamiento, además del tratamiento posterior al proceso de nitruración. Estos parámetros son importantes en la obtención del componente nitrurado con buenas propiedades mecánicas, tanto en la superficie como en el núcleo^{2,3}. De los aceros más utilizados en la nitruración por gases, a nivel nacional, la firma Aceros del Perú SAC (ACEPESAC), suministra acero SAE 4340, SAE 4140 y SAE 1045; con designación 34 CrNiMo6, 42 CrMoS4H y CK45, respectivamente⁶. La obtención de una óptima profundidad de capa nitrurada, así como buenas propiedades de tenacidad y dureza en las zonas nitruradas, son función de la temperatura y tiempo de tratamiento, además del tratamiento posterior al proceso de nitruración. Estos parámetros son importantes en la obtención del componente nitrurado con buenas propiedades mecánicas, tanto en la superficie como en el núcleo^{4,5}.

I.1. Nitruración por gases

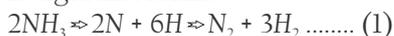
La nitruración por gases es un proceso termoquímico de endurecimiento superficial; donde el nitrógeno es introducido en la zona superficial de una aleación ferrosa sólida, manteniendo a dicha aleación a una determinada temperatura (bajo Acl para aceros ferríticos), en contacto con un gas nitrurante, generalmente amoniaco. No se requiere de un tratamiento posterior, para la obtención de una superficie dura. La temperatura de nitruración para los aceros ferríticos está entre 495 y 565°C (925 y 1050°F)^{4,5}. Las razones principales para nitrurar son:

- Obtener una alta dureza superficial.
- Incrementar la resistencia al desgaste.
- Mejorar la vida de fatiga.
- Mejorar la resistencia a la corrosión (excepto en aceros inoxidables).
- Obtener una superficie que es resistente al efecto de ablandamiento por calor a temperaturas próximas a la de nitruración.

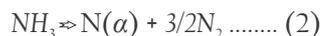
Además que no requiere templar y su relativa baja temperatura empleada en el proceso, produce menor distorsión y deformación que los procesos de cementación de endurecimiento convencional⁶. Para condiciones de nitruración similares como: suministro de nitrógeno, temperatura y tiempo de nitruración; se cumple que la capa compuesta o capa de nitruros en los aceros al carbono es siempre más gruesa que la de los aceros que contienen elementos formadores de nitruros (aluminio, cromo, etc.); esto es debido, a que los nitruros o carbonitruros formados con elementos de aleación contienen mayor cantidad de nitrógeno que aquellos formados con el hierro. El espesor de la capa compuesta es fuertemente dependiente del tiempo de nitruración, temperatura de nitruración⁷. Las capas compuestas de aceros al carbono que forman nitruros de hierro o carbonitruros de hierro, alcanzan una dureza entre 400 y 800 HV. En aceros aleados donde el hierro de los nitruros es reemplazado por elementos de aleación se alcanzan durezas de cerca de 900 a 1000 HV. Mientras que los aceros aleados con contenidos de aluminio se alcanzan durezas de hasta 1200 HV⁸. En algunos casos los carburos de la microestructura inicial absorben nitrógeno y se transforman en carbonitruros. Con grandes zonas carburos de hierro o carburos de elementos aleantes en la microestructura inicial, el tiempo de nitruración para completar la disolución de carburos en la capa compuesta no es lo suficientemente prolongado frecuentemente, razón por la cual se explicaría la existencia de carburos en la capa compuesta⁹. El grafito de una fundición de acero no responde al nitrógeno; al igual que las inclusiones no metálicas, es decir estos no son zonas de absorción de nitrógeno durante el proceso de nitruración gaseosa, quedando intactas después del tratamiento termoquímico mencionado.

1.2. Atmósfera para la nitruración por gases

Una atmósfera de nitruración está constituida por amoníaco, algunas veces diluido en gases adicionales como el nitrógeno por ejemplo. El amoníaco al descomponerse provoca que la presión parcial de nitrógeno aumente considerablemente; causando la formación de distintas fases sólidas de equilibrio, las que se aprecian en un diagrama de fases Fe-N¹⁰. La baja solubilidad del nitrógeno en el acero alfa, junto a la necesidad de producir altas presiones parciales (pues a presiones cercanas a una atmósfera la solubilidad de nitrógeno en hierro es casi despreciable) para la nitruración por gases ha hecho hasta ahora imposible el uso de potenciales de nitrógeno que solo conduzcan a la absorción de nitrógeno en el acero alfa; por lo que el suministro de nitrógeno lleva a la formación de una capa combinada de nitruros y una zona de difusión adjunta^{7,10}. A las temperaturas usuales de nitruración (500 – 570 °C), el amoníaco está en un estado termodinámico inestable y se disocia de la siguiente forma:



La ecuación (1), válida para el equilibrio térmico, lleva a grados de disociación mayores al 99% y en consecuencia a la formación de un gas protector (N₂) sin ningún efecto nitrurante. A pesar del efecto catalítico de las superficies de las piezas de trabajo y de la pared del horno, la disociación del amoníaco en el horno es muy lenta, como para el tiempo promedio de permanencia del gas en el horno y difícilmente alcanza el equilibrio termodinámico, con el cual alcanzaría la recombinación hasta nitrógeno molecular^{8,9}. El contenido de amoníaco semidisociado entonces es decisivo para el efecto de nitruración, durante el cual el nitrógeno difunde dentro del acero de acuerdo a la reacción.



La reacción es:



La cual ocurre en la superficie del acero también es capaz de transferir nitrógeno, sin embargo la reacción de izquierda a derecha es demasiado lenta como para tomarla en cuenta; siendo más fácil la reacción de derecha a izquierda¹⁰, lo cual implica la evaluación del tiempo de nitruración sobre las propiedades de la capa obtenida, siendo la evaluación de dureza, la medida práctica del logro de un tratamiento termoquímico; así en el presente artículo se presentan los datos del proceso de nitruración de algunos de los aceros que se nitruran en nuestro medio, de estos resultados se evaluará el tiempo de tratamiento de nitruración a solicitar en cada acero evaluado.

2. MATERIALES Y MÉTODO

Las composiciones químicas de los aceros estudiados, que fueron suministradas por el fabricante, son dadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química y propiedades de los aceros SAE 4340, SAE 4140 y SAE 1045 (6).

Composición Química (%)						
Acero	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn
SAE 1045	0.45 – 0.51	– 0.40	0.40	0.10	0.15 – 0.35	0.50 – 0.80
SAE 4340	0.30 – 0.38	1.30 – 1.70	1.30 – 1.70	0.15 – 0.30	0.15 – 0.40	0.50 – 0.80
SAE 4140	0.39 – 0.45	0.90 – 1.20	–	0.15 – 0.30	0.10 – 0.40	0.60 – 0.90

Fuente: Netto (2000)

El horno para la nitruración por gases fue de tipo eléctrico con lecho fluidizado marca PROCEDYNE Mod. 1250-2448; los tiempos de nitruración gaseosa fueron de 5, 10 y 15 horas para cada acero estudiado a 560°C en atmósfera nitrurante (amoníaco como gas principal y nitrógeno gaseoso como gas de soporte), manteniendo las demás variables constantes. El proceso de nitruración fue acumulativo en horas, es decir se procedió a nitrurar en forma aleatoria por tiempos controlados de 5 horas, hasta completar el periodo de nitruración considerado en cada ensayo. Una vez terminado el proceso de nitruración, se procedió a realizar los ensayos de dureza tanto en la superficie de los aceros así como en sus respectivas secciones transversales, además de ello se procedió al registro de microestructuras correspondiente.

3. RESULTADOS

3.1. SAE 4340

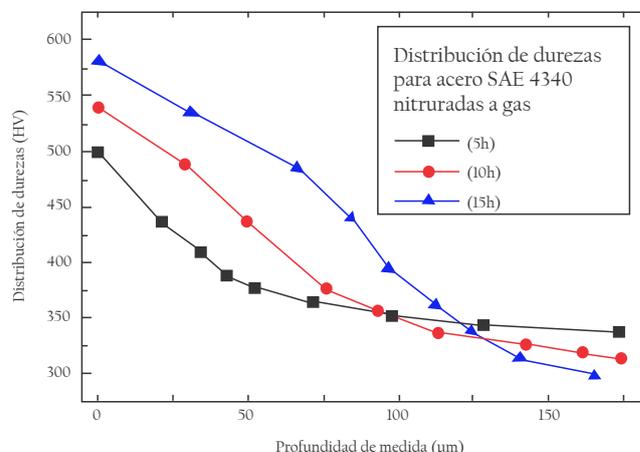


Figura 1. Distribución de durezas en el acero SAE 4340, de 1", sometido a nitruración por gases durante 5, 10, 15 horas a 560°C.

Fuente: Elaboración Propia.

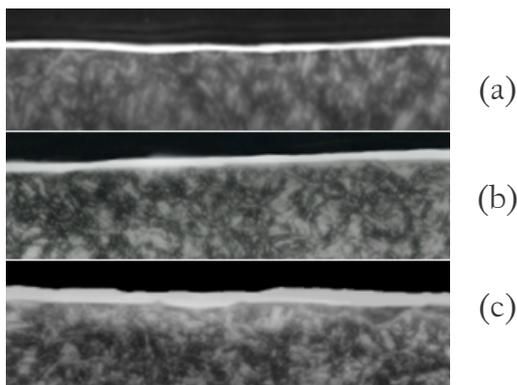


Figura 2. Fotomicrografía de las capas nitruradas en una probeta de acero SAE 4340, sometida a nitruración simple por gases durante 5(a), 10(b) y 15(c) horas a 560°C. 400X. Nital 2%.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2. SAE 4140

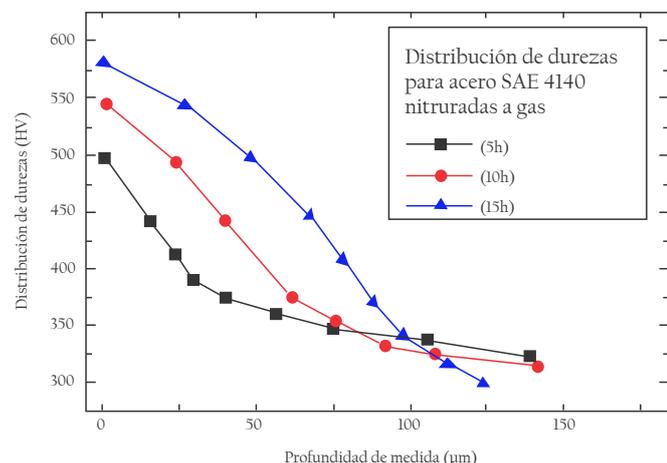


Figura 3. Distribución de durezas en el acero SAE 4140, de 1", sometido a nitruración por gases durante 5, 10, 15 horas a 560°C.

Fuente: Elaboración Propia.

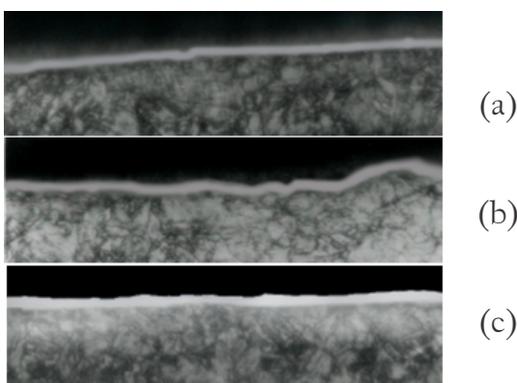


Figura 4. Fotomicrografía de las capas nitruradas en una probeta de acero SAE 4140, sometida a nitruración simple por gases durante 5(a), 10(b) y 15(c) horas a 560°C. 400X. Nital 2%.

Fuente: Elaboración Propia.

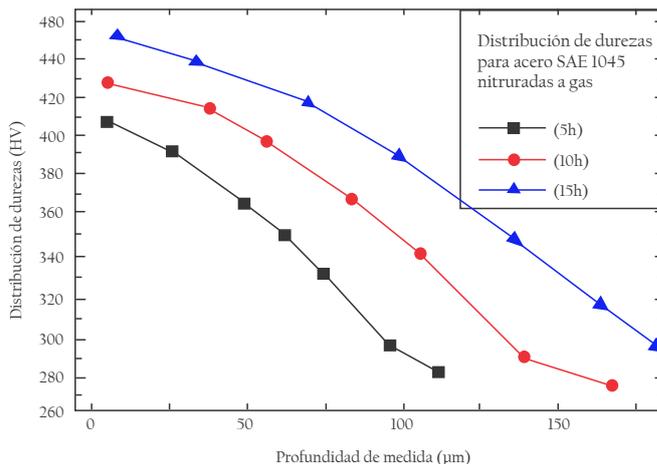


Figura 5. Distribución de durezas en el acero SAE 1045, de 1", sometido a nitruración por gases durante 5, 10, 15 horas a 560°C.

Fuente: Elaboración Propia.

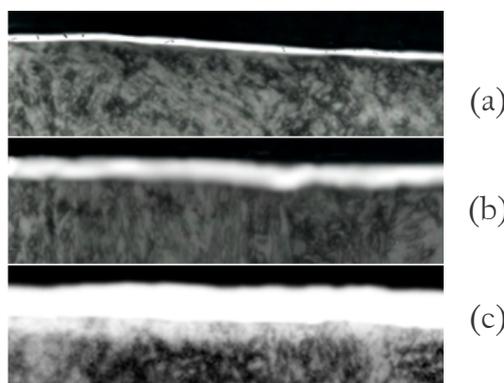


Figura 6. Fotomicrografía de las capas nitruradas en una probeta de acero SAE 1045, sometida a nitruración simple por gases durante 5(a), 10(b) y 15(c) horas a 560°C. 400X. Nital 2%.

Fuente: Elaboración Propia.

4. DISCUSIÓN

Las figuras del 1 al 6 son los resultados obtenidos del proceso de nitruración gaseosa en un medio de amoniaco para los aceros SAE 1045, 4140 Y 4340 a 560°C, de estas se puede apreciar la relación directa entre el espesor de capa de nitruros (capa blanca) con el tiempo de tratamiento, además se aprecia que los espesores de capa de los aceros SAE 4140 y 4340 son similares, esto es de esperarse pues ambos como se muestra en la tabla 1 tienen una composición química similar, además de que tienen una cercanía en los valores de dureza superficial obtenidos, esto también sería por la razón mencionada, similar conclusión se encuentran en las referencias^{5,8-10}, y como ya se mencionó en líneas anteriores donde se indica que el tipo de capa blanca es dependiente del tipo y cantidad de elementos de aleación en especial de los formadores de nitruros, siendo en los aceros evaluados el principal elemento el cromo, y este es ligeramente mayor en el SAE 4340 en comparación al SAE 4140, lo que explicaría la

diferencia de valores de dureza superficial obtenidos, también se mencionó en un párrafo anterior que el espesor de la capa de nitruros es dependiente de los elementos que lo forman, siendo esta compacta en el caso de elementos formadores de nitruros y porosa en el caso de aceros que posean elementos formadores no recomendados en la formación de nitruros^{4,6-7}, ello justificaría y según se muestran las figura 2, 4 y 6, el mayor espesor de capa de nitruros del acero SAE 1045, que aunque el espesor de capa es mayor, los valores de dureza superficial son menores, pues estos nitruros serían probablemente de alta porosidad y poco adherentes pues la composición del SAE 1045 no promueve de forma adecuada la formación de la capa de nitruros, lo mencionado se resume en la tabla 2. La tabla 3 muestra los datos resumen de los espesores de capa de nitruros obtenidos a partir de la evaluación metalográfica.

Tabla 2. Durezas superficiales para las probetas ensayadas.

Tiempo de nitruración en horas	Dureza Superficial (HV) SAE 4340	Dureza Superficial (HV) SAE 4140	Dureza Superficial (HV) SAE 1045
5	499	487	402
10	539	532	430
15	581	565	450

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3. Espesores de capa de nitruros para los aceros en estudio. Los datos se obtuvieron, estableciendo una dureza superficial de 400 HV.

Tiempo de nitruración en horas	Espesor de capa blanca en μm . para SAE 4340	Espesor de capa blanca en μm . para SAE 4140	Espesor de capa blanca en μm . para SAE 1045
5	10	10	12
10	17	17.5	21.5
15	27.5	28.1	36.6

Fuente: Elaboración Propia.

5. CONCLUSIONES

Los mayores espesores de capa de nitruros se obtiene con el tratamiento de nitruración por gases de una sola etapa al igual que los valores de dureza superficial y dichos valores aumentan con el incremento del tiempo de nitruración, así, un tiempo de 15 horas de nitruración, para el acero SAE 1045 resulto en una dureza superficial de 454.2 HV, una profundidad de capa efectiva 89.00 μm y 36.6 μm . de espesor de capa de nitruros. Para el SAE

4140 se obtuvo 532 HV, una profundidad de capa efectiva de 95.09 μm y 28.1 μm . de espesor de capa de nitruros. Por ultimo para el acero SAE 4340 se obtuvo 580.9 HV, con una profundidad de capa efectiva de 94.8 μm y 27.5 μm . de espesor de capa de nitruros.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Grabke (1994), Kinetics of Gas-Solid Interactions, Mater. Sci. Forum, Vol 154, p 69-85.
- [2] P. Friehling, F. Poulsen, M. Somers, (2001), Nucleation of Iron Nitrides During Gaseous Nitriding of Iron; the Effect of a Preoxidation Treatment, Z. Metallkde., vol. , p 589 -595. Argentino de Siderurgia, Vol. 4 pp. 110-112. Buenos Aires, Junio 1990. pp. 84, 91-93, 155-216, 248-265.
- [3] H. Rozendaal, E. Mittemeijer, F. Colijn (2005), The Development of Nitrogen Concentration profiles on Nitriding Iron, Metall. Trans. A, Vol 14, p395-399.
- [4] M. Somers, P. Friehling, (2008) Modellierung der Keimbildungs- und Wachstumskinetik der Verbindungsschicht beim Nitrieren von Reineisen, Hirterei-Tech. Min.. Vol 57, p 415-420
- [5] E. Mittemeijer (2010), Layer Growth Kinetics on Gaseous Nitriding; Evaluation of Diffusion Coefficients for Nitrogen in Iron Nitrides, Metall. Mater. Trans. A. Vol.26. p 57-74
- [6] E. Netto (2000). Estudio comparativo entre nitretação iônica e nitrocarbonetação em meio líquido e em meio gasoso. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 55., p. 2063-2072. Rio de Janeiro.
- [7] A. Mijiritski (2003). Structure of surfaces and bulk phases formed during gas-metal interactions. 1973. Tese (Doutorado), Universidade de Groningen, Moscou.
- [8] J. Nowacki (2004).; Modification of composite nitride layers by phosphorus compounds. Surface Coatings Technology. Vol. 125. p. 9-12.
- [9] J. Fast (2002): 'Interaction of metals and gases', Vol. 12, 'Thermodynamics and phase relations';indhoven, Philips Technical Library.
- [10] P. Friehling (2005), Nucleation and Growth of the Compound Layer During Gaseous Nitriding of Iron; the Effect of preoxidation, Ph.D. Thesis, Technical University of Denmark.

