

Propiedades del Proceso Tenifer®

El nitrurado en sales de piezas de acero, fundición o piezas sinterizadas bajo el proceso TENIFER, se ha llevado a cabo mundialmente durante décadas en diferentes ramos de la industria.

Es utilizado para aumentar la resistencia al desgaste, a la corrosión y a la fatiga.

En muchos casos el proceso TENIFER es una alternativa a otros tratamientos superficiales como es el caso de la cementación y del cromo duro, obteniéndose una calidad similar o superior.

Proceso

El nitrurado bajo el proceso TENIFER se realiza a 580°C. El proceso se lleva a cabo en un crisol de material especial con aereación, la sal fundida está compuesta por cianato y carbonato. El agente activo en un baño de nitrurado es el cianato. Al reaccionar con la superficie del acero se forma carbonato. Al regenerar el baño el carbonato se reduce nuevamente a cianato. Esto se lleva a cabo sin cambio de volumen con un regenerador plástico compuesto por una unión orgánica de carbón, nitrógeno e hidrógeno. En la Fig. 1 se observan las diferencias entre el nitrurado viejo y el nuevo de manera esquemática. Ya que la regeneración del baño se lleva a cabo sin cambio de volumen, no se generan sales agotadas.

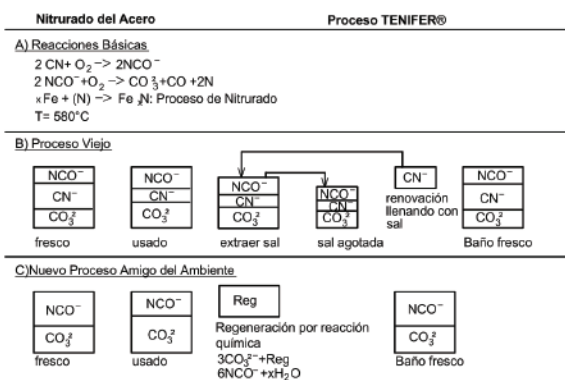


Fig. 1: Reacciones básicas y comparación entre el proceso nuevo y viejo

El manejo del tratamiento para llevar a cabo el proceso QPQ es sencillo. Como en el tratamiento de piezas en sales, serán las piezas primeramente precalentadas al aire a 350°C. Posteriormente se lleva a cabo el nitrurado durante 30-120 minutos a 580°C luego serán enfriadas a una temperatura de 330-400°C en el baño de sal. En el baño de enfriamiento permanecen normalmente entre 10 y 15 minutos. Después un enjuague y lavado de la carga.

Formación y espesor de la capa de nitrurado.

Capa de unión

Al nitrurar en sales bajo el proceso TENIFER se forma una capa de nitruro, la cual está compuesta por una capa externa de unión de nitruro de hierro ε y una capa de difusión. La formación, estructura y propiedades de la capa de unión son casi independientes del material utilizado. Por el tipo de estructura la capa de unión ya no tiene propiedades metálicas. Se caracteriza por una gran resistencia al desgaste, y a la corrosión y es casi resistente a la provocación del incremento de temperatura. En la capa de unión se miden durezas Vickers de 800 a 1500 HV según el material utilizado. En la figura No. 4 se comparan diferentes procesos con las durezas alcanzadas.

La capa de unión está compuesta de uniones entre hierro, nitrógeno, carbón y un poco de oxígeno. El contenido de nitrógeno se encuentra entre 7 a 9 % y el contenido de carbón de un 1%. Si después del nitrurado se enfría la pieza en un baño salino oxidante, aumenta el contenido de oxígeno a 6%.

Al verificar la pieza nitrurada metalográficamente, contrasta la capa de unión con la capa total de nitrurado como una zona atacada suavemente. Para los tiempos de nitrurado utilizados alcanza la capa de unión una profundidad de 10-20 μm.

Para aumentar la capa de difusión puede utilizarse la ley de difusión simplificada.

Para las mismas condiciones del baño y temperatura aumenta al doble el espesor de la capa de unión utilizando cuatro veces el tiempo de nitrurado. Junto a las condiciones de operación, influye el contenido de carbón y de aleantes de la pieza a ser tratada en el espesor alcanzado. Si aumentamos los aleantes disminuye el espesor de capa. Los valores mostrados en la Fig. 5 fueron alcanzados en un baño a 580 °C y con 38% de CNO-.

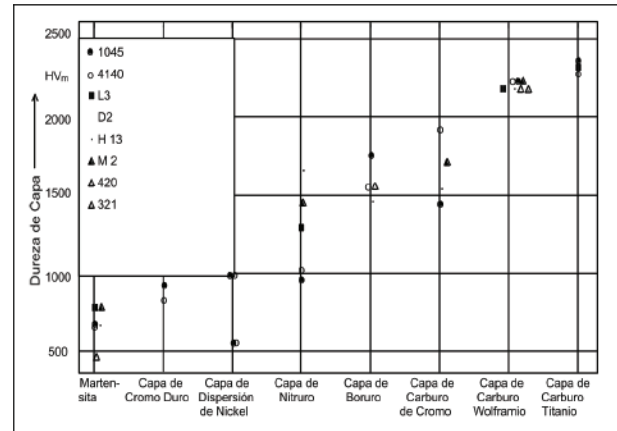


Fig. 4: Comparación de diferentes procesos y la dureza de capa

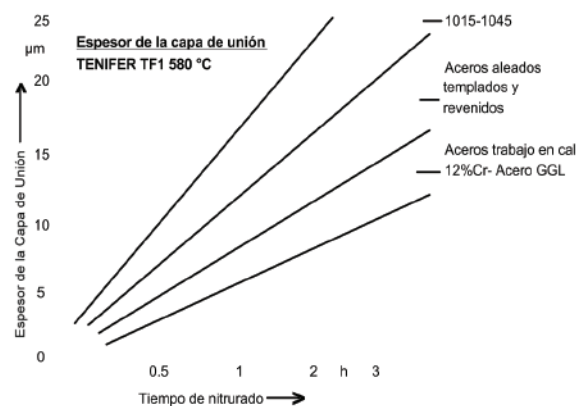


Fig. 5: Espesor de la capa de unión en función del tiempo de nitrurado y de los materiales

Capa de difusión.

Las durezas y profundidades alcanzables en la capa de difusión son dependientes del material utilizado. Mientras mas aleado sea el acero, menor será la profundidad alcanzada para un mismo tiempo de nitrurado. La dureza aumenta con los aleantes. Para aceros no aleados la formación de la capa de difusión está influenciada por la velocidad de enfriamiento después del nitrurado. Después de un enfriamiento rápido en agua permanece el nitrógeno en solución. Metalográficamente no se observa ninguna diferencia entre la capa de difusión y el núcleo.

Por medio de un enfriamiento lento o un revenido posterior puede transformarse parte del nitrógeno en agujas de nitruro de hierro para aceros no aleados. La profundidad de penetración corresponde al doble de la capa de agujas observada.

Al contrario de los aceros no aleados, en los aceros aleados la estructura de la capa de difusión se identifica metalográficamente con facilidad por un mejor ataque a diferencia de la estructura del núcleo. Aquí también es mayor la penetración real que la superficie oscura de ataque que se puede identificar metalográficamente. No se ha observado ninguna influencia del enfriamiento en la formación de la capa de difusión. En la Fig. 6 se proporciona la profundidad de la capa de difusión para diferentes materiales en función al tiempo de nitrurado.

Dureza superficial y del núcleo.

El cambio en la dureza superficial por el nitrurado es en función del material. Si se aumentan los elementos aleantes que favorecen el nitrurado la dureza superficial aumenta. En la Fig. 7 se proporcionan valores nominales de la dureza del núcleo y la superficie en aceros nitrurados.

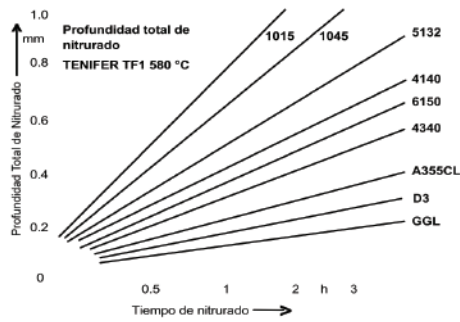


Fig. 6: Profundidad de difusión del nitrógeno con el nitrurado en sales para diferentes aceros y tiempos de permanencia.

Material	Resistencia a la tracción (N/mm ²) después del temple y revenido a 600°C		Valores de dureza superficial después del tratamiento TENIFER 90' 580 °C					
	AISI/SAE ASTM	DIN	Nombre	2 horas	6 horas	HV 1	HV 10	HV 30
1015	1.1141	Ck15		600	550	350	300	200
1060	1.1221	Ck60		750-900	700-800	450	350	250
5120	1.7147	20MnCr5		800-950	800-900	600	450	400
O1	1.2510	100MnCrW4		1000-1200	900-1100	550	450	400
4140	1.7225	42CrMo4		900-1200	900-1100	650	500	450
L6	1.2713	55NiCrMoV6		1200-1400	1150-1300	650	550	500
6F3/L6	1.2714	56NiCrMoV7		1300-1500	1250-1400	650	550	500
420	1.2082	X20Cr13		1000-1200	1000-1200	>900	600	450
D3	1.2080	X210Cr12		1500-1700	1400-1600	>800	600	450
H10	1.2365	X32CrMoV33		1700-1800	1600-1750	>900	850	700
H11	1.2343	X38CrMoV51		1700-1900	1500-1700	>900	850	700
H12	1.2606	X37CrMoV51		1700-1900	1600-1800	>900	800	700
H13	1.2344	X40CrMoV51		1500-1700	1500-1600	>900	850	750
H21	1.2581	X30WCrV93		1500-1800	1500-1700	>900	850	800

Fig. 7: Dureza después del temple y revenido a 600°C y valores de dureza HV después de 90 minutos de nitrurado en sales a 580°C.

Resistencia al desgaste y propiedades de deslizamiento.

Con la formación de la capa de unión disminuye la fricción y la tendencia a pegarse contra otra superficie metálica al girar contra ésta. Las piezas nitruradas presentan excelentes propiedades de deslizamiento así como una alta resistencia al desgaste. Pruebas de desgaste, así como aplicaciones de piezas nitruradas, confirman la mayor resistencia al desgaste de piezas nitruradas en baño de sal contra otros tratamientos superficiales.

En la práctica se alcanza una vida más larga con piezas nitruradas como árboles, equipo hidráulico que con el cromo duro.

Se ha encontrado tanto en pruebas de laboratorio como en la práctica, que la resistencia al desgaste de la capa de unión se mejora con el proceso posterior de oxidación. Continuamente se presenta la pregunta en relación a las piezas nitruradas sobre la resistencia al desgaste de la capa de difusión. En la Fig. 12 se muestra comparativamente el desgaste del buzo con diferentes tratamientos.

Muestra el desgaste de la superficie de contacto sobre un cigüeñal de fundición nitrurado.

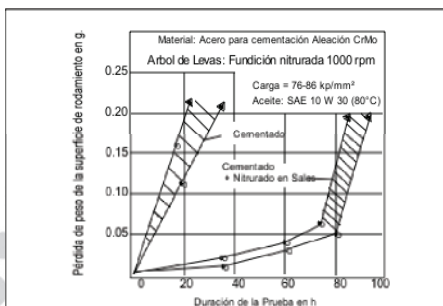


Fig. 12: Influencia del tratamiento superficial en el tratamiento de un buzo.

Aún cuando por el nitrurado la dureza superficial del buzo cementado bajó, la resistencia al desgaste aumentó significativamente hasta 80 horas. Después de 70-80 horas, la curva de desgaste sigue paralela a la del buzo templado, lo que muestra que se desgastó la capa de unión. El ejemplo muestra, que cuando, la capa de unión se termina, no existe el riesgo de un aumento repentino en el desgaste.

De cada mecanismo de desgaste depende, como el material o la combinación de materiales se comportan. Contra desgaste por adhesión piezas nitruradas han demostrado un excelente comportamiento. La tendencia al desgaste disminuye al máximo en comparación a otros tratamientos superficiales. En la Fig. 13 se resumen los resultados del límite de capacidad de carga en engranes según Niemann-Rettig. Los límites de capacidad de carga fueron determinados, aumentando el momento sobre el flanco del diente hasta que se presentó desbaste. El acero con el menor límite de capacidad de carga fue el acero austenítico con 18% de cromo y 8% de níquel. Por medio del nitrurado por el proceso TENIFER se observó un aumento de 2 a 5 veces la capacidad de carga de los materiales.

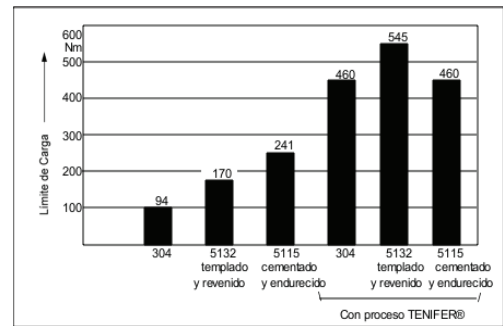


Fig. 13: Límite de carga antes del desbaste de engranes de diferentes materiales con diferentes tratamientos térmicos.

Junto con la resistencia al desgaste y las propiedades de deslizamiento interesa también el coeficiente de fricción de la capa superficial. La reacción superficial límite de deslizamiento es en menor medida dependiente de la dureza absoluta y en mayor medida de la combinación de materiales, de la estructura, de la geometría de la superficie y del lubricante utilizado. En este sentido fueron llevadas a cabo pruebas en nuestro Laboratorio en la máquina Amsler, para determinar el factor de fricción para diferentes combinaciones de materiales en función de la capa superficial y el lubricante.

Para la prueba se utilizaron dos discos uno frente al otro. El disco inferior giraba a 200 rpm y el superior permaneció fijo. La carga fue de 5-30 N, para evitar desgaste por adhesión. Como para altas cargas el coeficiente de fricción aumenta al aumentar la carga, permanece constante en un intervalo de 5-30 N.

La Fig. 14 nos muestra los diferentes coeficientes de fricción encontrados para diferentes materiales en estado seco y lubricados con aceite SAE 30. Las probetas utilizadas después del cromado, cementado y nitrurado enfriado en agua o en baño salino, una rugosidad de 4 µm. Únicamente en la probeta tratada en QPQ y pulida con lija del Nr 360 y 600 se obtuvo una rugosidad de Rm= 1 µm. En la prueba en seco mostraron las piezas nitruradas un coeficiente de fricción menor a las piezas cromadas y cementadas. Con el aumento en la oxidación de la capa de unión aumentó el factor de fricción en las probetas nitruradas.

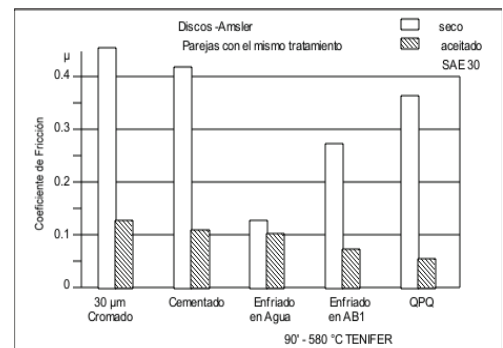


Fig. 14: Coeficiente de fricción de discos Amsler con diferentes tratamientos superficiales y diferentes lubricantes.

En la prueba con lubricación debe considerarse la carga absorbida por parte de la lubricación hidrodinámica. Las piezas tratadas con QPQ tuvieron el coeficiente de fricción más bajo de todas las variantes realizadas.