

AVALIAÇÃO COMPARATIVA ENTRE A NITRETAÇÃO EM BANHOS DE SAL E A NITRETAÇÃO GASOSA, ATRAVÉS DE ENSAIOS DE DESGASTE POR DESLIZAMENTO E ROLAMENTO.

Bernardo Loeb*
José Francisco de Oliveira*
Manoel Mendes*
Tatsuo Sakima*

Resumo

Este trabalho mostra os resultados comparativos de dois processos de nitretação, em banhos de sal e em meio gasoso, sujeitos aos fenômenos de desgaste. Foram utilizados quatro tipos de aço para construção mecânica com três acabamentos diferentes e submetidos à ação tribológica de deslizamento e de rolamento.

Quatro empresas realizaram os tratamentos termoquímicos mencionados. As amostras apresentaram os seguintes acabamentos de superfície: retificado, laminado e trefilado, nos aços ABNT 1015, ABNT 1035, ABNT 1045 e ABNT 8620.

A avaliação foi feita através de dois ensaios de desgaste, um por deslizamento de pino contra o disco e o outro de rolamento de pino contra a capa de rolamento.

São mostrados também os resultados obtidos por metalografia das amostras nitretadas, os valores da rugosidade e a análise completa dos aços utilizados.

Os resultados nos mostram que tribologicamente o método a sal é superior ao gasoso.

Introdução

A nitretação consiste na introdução de nitrogênio na superfície da peça, cujos processos recebem as designações comerciais de Tenifer, Tenox, Sursulf, Nitemper, Deganit, SCN, Oxinit, Ionit, Ionox, etc. São tratamentos termoquímicos de carbonitretação a baixa temperatura segundo a escola francesa, ou nitrocementação ferrítica segundo a americana, e correspondem à nitretação de ciclo curto.

O início do processo ocorreu há cerca de meio século e seu grande desenvolvimento deu-se na década de 1.960 com os banhos de cianeto. Em seguida, foi criado o processo a gás e só mais recentemente foi desenvolvido o processo gasoso com adição de enxofre. Outras evoluções do processo referem-se ao desenvolvimento do banho de sal não poluente com ou sem enxofre e a oxidação superficial da camada, a qual acarreta uma melhoria sensível da resistência à corrosão.

Esses tratamentos consistem no enriquecimento simultâneo de carbono e nitrogênio podendo ocorrer a presença de enxofre ou oxigênio. Esses tratamentos termoquímicos são limitados às camadas superficiais e realizados em temperaturas vizinhas a 570° C, ou seja, no campo ferrítico. São realizados em banho de sal, sob atmosfera controlada, em plasma ou em granulado.

Os objetivos básicos de todos eles são a melhoria das propriedades de resistência ao desgaste, corrosão, fadiga, engripamento e atrito. No aço carbono, por exemplo, essas propriedades são conseguidas quando ocorrem as seguintes estruturas:

- Uma camada externa branca denominada camada de ligação com espessura de 10–15 µm do carbonitreto $\epsilon = \text{Fe}_{2,3}(\text{CN})$ de estrutura hexagonal.
- Uma segunda camada que segue a camada de ligação e se denomina camada de difusão que pode ser solução sólida intersticial de nitrogênio na ferrita ou uma solução sólida acompanhada do precipitado de nitreto de ferro $\gamma' = \text{Fe}_4\text{N}$ na forma de agulhas. A ocorrência de uma estrutura ou outra depende da velocidade de resfriamento.

* Professores da disciplina Tratamento Térmico e Seleção de Materiais do CEETEPS-FATEC-SP, Depto. de Mecânica.

Essas estruturas são constatadas por difração de raios X e podem ser avaliadas por exame metalográfico e microdureza.

Objetivo

Este trabalho visa comparar o processo de nitretação gasosa com o de banho de sal. As variáveis são: quatro processos de nitretação, quatro tipos de aços de construção mecânica ABNT 1015, ABNT 1035, ABNT 1045 e

ABNT 8620, com três tipos de acabamento superficial, trefilado, retificado e laminado. Os ensaios utilizados foram de desgaste por deslizamento e rolamento.

Materiais e Processos

- Materiais e Parâmetros Metalúrgicos.

A composição química das barras de aço utilizadas para a confecção dos corpos de prova, são apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Designação ABNT	% C	% Mn	% P	% S
1015	0,16	0,47	0,030	0,040
1035	0,33	0,72	0,033	0,035
1045	0,48	0,69	0,029	0,039

Tabela 1 – Composição Química dos Aços ao Carbono.

Designação ABNT	% C	% Mn	% Si	% Cr	% Ni	% Mo	% P	% S
8620	0,19	0,85	0,29	0,52	0,61	0,22	0,018	0,30

Tabela 2 – Composição Química do Aço Baixa Liga.

Através da metalografia e dureza foi avaliada:

- Estrutura da Matriz.

Todos os aços apresentaram na estrutura ferrita e perlita que são características destes aços.

- Tamanho de grão (ASTM E 112)

ABNT 1015 – tamanho de grão ASTM n° 8

ABNT 1035 – tamanho de grão ASTM n° 7 – 9

ABNT 1045 – tamanho de grão ASTM n° 7

ABNT 8620 – tamanho de grão ASTM n° 8

- Descarbonetação (SAE J419)

Nenhum dos quatro aços utilizados com acabamento retificado, trefilado e laminado apresentaram descarbonetação.

- Microinclusões (SAE J422) (Jernkontoret)

ABNT 1015 – C3 (g) D1 (f)

ABNT 1035 – C2 (f) D 2 (f)

ABNT 1045 – B3 (g) D1 (g)

ABNT 8620 – B1 (g) D2 (f)

- Dureza Brinell D=2,5/187,5kp.

ABNT 1015 – 156 HB no núcleo, amostra trefilada e retificada.

ABNT 1035 – 177 HB no núcleo, amostra trefilada e retificada.

ABNT 1045 – 202 HB no núcleo, amostra trefilada e retificada.

ABNT 8620 – 198 HB no núcleo, amostra laminada e retificada.

- Rugosidade – Vide tabela 3

Material ABNT	Estado/ Acabamento	mm	Rugosidade Ra μ m	mm	Rugosidade Ra μ m
1015	Retificado	10	1,039	8	0,441
1015	Trefilado	10	1,139	-	-
1035	Retificado	10	1,278	8	0,391
1035	Trefilado	10	0,583	-	-
1045	Retificado	10	1,013	8	0,408
1045	Trefilado	10	0,689	-	-
8620	Retificado	10	0,908	8	0,342
8620	Laminado	10	2	-	-

Tabela 3 – Valores da rugosidade antes do tratamento.

Disco: ABNT 8640, beneficiado, ϕ 75mm, retificado.

- Processos

Os quatro materiais com suas respectivas dimensões e acabamentos foram nitretados pelos processos: Tenifer, Sursulf, Nitemper e MB, sendo

os dois primeiros em banhos de sal e os demais em atmosferas gasosas.

dos valores da dureza superficial e da espessura da camada de ligação estão na tabela 4.

Os resultados dos ensaios metalográficos,

Empresa	1045		1015		1035		8620	
	Dureza HV 0,2	Camada μm	Dureza HV 0,2	Camada μm	Dureza HV 0,2	Camada μm	Dureza HV 0,2	Camada μm
A	430	14	380	16	400	15	550	13
B	450	15	350	13	400	15	600	15
C	320	18	300	18	310	18	400	17
D	350	16	350	17	350	17	450	17

Tabela 4 – Resultados dos Ensaio

O aumento da rugosidade após o tratamento é mostrada na tabela 5.

Empresas	Varição de Rugosidade Ra - μm
A	0,4
B	0,30
C	0,15
D	0,13

Tabela 5 – Variação da rugosidade.

Ensaio e Resultados.

As amostras foram submetidas a dois ensaios de desgaste.

O princípio de funcionamento do equipamento de ensaio de engripamento é mostrado na figura 1.

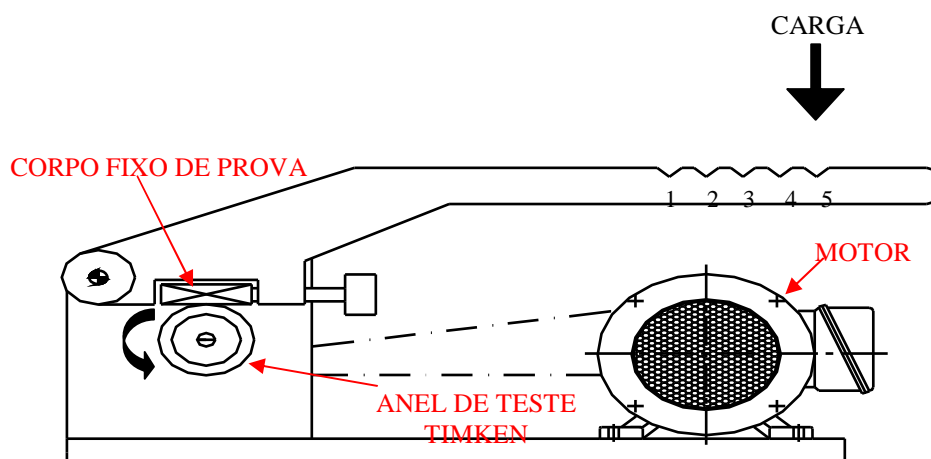


Figura 1 - Princípio de funcionamento do equipamento TIMKEN

- Ensaio de Engripamento Tinkem.

Através deste ensaio, avalia-se o desgaste por rolamento do pino contra a capa de rolamento.

O ensaio consiste na aplicação de uma carga constante sobre um corpo de prova fixo de forma cilíndrica que está em contato com uma capa de rolamento que gira a 600 rpm.

O desgaste é avaliado através do tempo de duração da operação; a contagem do tempo termina com o engripamento do par cilindro-capa por soldagem, para uma determinada carga.

A carga total aplicada pode variar em função da posição que a carga móvel ocupa no braço da alavanca, a qual possui 5 graduações.

Todos os ensaios foram realizados com película de óleo lubrificante automotivo SAE 30.

Os resultados são meramente comparativos.

A ação tribológica é por rolamento e o tipo de desgaste é de rolamento.

- Ensaio de Desgaste por Deslizamento Rotativo de Pino Contra Disco.

equipamento de ensaio por deslizamento é mostrado na figura 2.

A condição de deslizamento nos ensaios passa de moderada a severa. A temperatura do disco é mantida constante em 100 °C e procede-se a variação da carga sobre o pino e da rotação do disco ao longo do tempo.

Condições do ensaio do par Pino-Disco:

Primeira etapa - Condição moderada de desgaste-carga de 20 N, a 30 rpm durante 0,6 h.

Segunda etapa - Condição severa de desgaste com aumento da carga de 2 N/s até 800 N e rotação 190 rpm.

O óleo lubrificante utilizado foi o SAE 15W40, o volume utilizado foi de 26 ml sobre o disco, na trilha de deslizamento do pino; a trilha tem diâmetro de 50 mm.

O princípio de funcionamento do

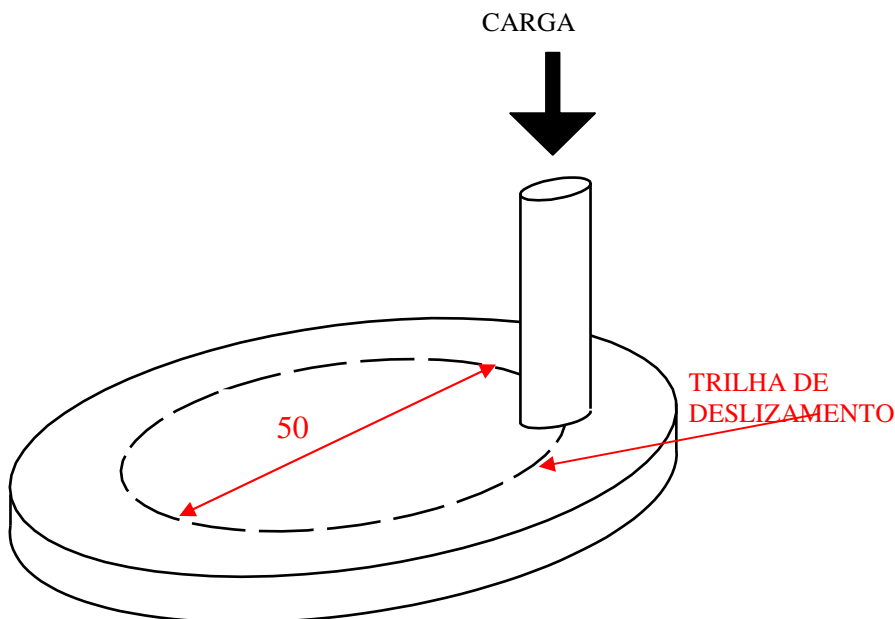


Figura 2 - Princípio de funcionamento do equipamento de desgaste pino contra disco.

Resultados

As barras de aço que foram utilizadas para a confecção dos corpos de prova, sofreram as seguintes análises:

- Análise química,
- Estrutura metalográfica da matriz,
- Tamanho de grão,
- Avaliação da descarbonetação,
- Tipos de inclusões e
- Dureza do núcleo.

As barras foram consideradas aprovadas para os testes.

As variáveis passaram a ser os processos e os acabamentos superficiais que foram avaliados pela rugosidade; os valores antes e após os tratamentos estão nas tabelas 3 e 5.

Para a avaliação do desgaste através do ensaio de engripamento Tinkem, foi fixado um critério no qual a nota 100 foi dada ao tratamento que suporta um tempo de duração superior a 90 s e a carga móvel na posição 5 do braço da alavanca. A tabela 6 mostra a distribuição das notas.

posição da carga Tempo de duração	1	2	3	4	5
	tempo>90s	20	40	60	80
tempo<90s	10	30	50	70	90

Tabela 6 – Notas x carga x tempo de duração do ensaio.

O resultado dos ensaios se encontram na tabela 7.

Aço Acabamento	Processos			
	A Sal	B Sal	C Gás	D Gás
1015 R	100	100	100	70
1015 T	100	100	100	70
1035 R	100	100	100	10
1035 T	100	100	90	50
1045 R	10	100	10	50
1045 T	100	100	100	50
8620 R	90	90	90	10
8620 L	30	10	10	10

R – retificado, T – trefilado, L – laminado.

Tabela 7 – Notas do ensaio Tinkem.

A influência do acabamento pode ser vista na tabela 8.

Acabamento	Processos			
	A	B	C	D
Σ R/n	75	97,5	75	35
Σ T/n	100	100	96,7	56,7
Σ L	30	10	10	10

Tabela 8 – Notas do Acabamento x Processos.

Para o ensaio de desgaste por deslizamento, os pinos também foram nitretados

a gás e em banho de sal. O disco não é nitretado, mas beneficiado e retificado.

O ensaio visa determinar o comportamento do coeficiente de atrito médio ao longo do tempo nas condições de desgaste moderado e severo.

Não menos importante é a duração do ensaio onde se inicia a elevação súbita do coeficiente de atrito ou a transição; esta

elevação ocorre quando o ensaio está na condição severa.

Um resumo de todos os ensaios é mostrado na tabela 9.

Métodos de Nitretação	Condição/Atrito	Desgaste severo	
		Desgaste moderado coef. Atrito	coef. Atrito transição h
sal	~ 0,1	~0,4	1,35
gás	~0,2	~ 0,5	1,6

Tabela 9- Coeficiente de atrito para os dois métodos de nitretação e duas condições de desgaste.

Observando-se ao microscópio constatamos que os pinos tratados a gás apresentam um dano superficial mais severo assim como uma maior deformação plástica.

Conclusões

As comparações dos resultados do ensaio Tinkem podem ser observadas nas tabelas 7 e 8.

Quatro empresas A-sal, B-sal, C-gás e D-gás trataram quatro aços, ABNT 1015 retificado e trefilado, ABNT 1035 retificado e trefilado, ABNT 1045 retificado e trefilado e ABNT 8620 retificado e laminado. Podemos tirar algumas conclusões:

- 1- O melhor processo é o da empresa B-sal seguido pela A-sal, C-gás e D-gás.
- 2- O melhor aço para nitretação é o ABNT 1015 seguido pelo ABNT 1035, ABNT 1045 e ABNT 8620.
- 3- O melhor acabamento superficial para a nitretação é o trefilado, seguido pelo retificado e laminado.
- 4- Quanto menor a rugosidade, melhor o resultado.
- 5- O aço ligado com acabamento laminado deu péssimos resultados.
- 6- A empresa D-gás apresentou resultado insatisfatório tendo em vista que o teor de carbono e de nitrogênio da camada de ligação foram baixos.
- 7- Muito embora a dureza superficial da camada nitretada do aço ABNT 8620 foi bem superior aos demais aços, a conclusão que se chega é que os elementos de liga do aço ABNT 8620 não melhoram os resultados.
- 8- À medida que o teor de carbono do aço aumenta, pioram os resultados.

Dos ensaios de deslizamento do conjunto pino-disco, podemos tirar as seguintes conclusões:

- 1- Na condição de desgaste moderado o coeficiente de atrito do método a sal é inferior ao gasoso.
- 2- O tempo de ensaio que inicia a transição, ou seja, a elevação súbita do coeficiente de atrito é superior no método a sal, em mais ou menos 20%.
- 3- O coeficiente de atrito médio para o desgaste severo é aproximadamente 0,5 para o método gasoso e aproximadamente 0,4 para o banho de sal.

Essas conclusões são indicadoras da superioridade do banho de sal.

Agradecimentos

Nossos agradecimentos a Promax Bardahl-Produtos Máximus S.A. e a EPUSP-Depto de Mecânica pelo empréstimo dos equipamentos de ensaio.

Este trabalho só foi possível graças ao apoio do CEETEPS-FATEC-SP ao grupo de estudo e pesquisa.

Bibliografia

- Norma DIN 50.320 – Metalurgia e Materiais – out/97, pág. 619-622.
- ASM Handbook, 10 ed. Vol. 4, pág. 387-409.
- A. Sinatora (EPUSP), M. M. Maru (EPUSP), D.E. Cantadeiro (FATEC-SP) – Comparativo do desgaste por deslizamento de camadas nitretadas a gás e em banho de sal – 1999-2000.