

NITRETAÇÃO A PLASMA EM AÇO FERRAMENTA

Adelmo Selhorst Junior¹, Julio César Sagás^{1,2}, Diego Alexandre Duarte^{1*}

¹ Centro Universitário Católica de Santa Catarina, Campus Joinville, Rua Visconde de Taunay, 427, Centro, 89203-005, Joinville, SC

² Universidade do Estado de Santa Catarina, UDESC/CCT, Rua Paulo Malschitzki, s/n, Campus Universitário Prof. Avelino Marcante, Bairro Zona Industrial Norte, 89219-710, Joinville, SC

15

Aços ferramenta são aços utilizados, quase que exclusivamente, como materiais de construção para ferramentas mecânicas. Desta categoria de aço, são exigidas algumas qualidades específicas, que os tornam adequados para este uso. Conforme o tipo de utilização é exigido alta dureza, tenacidade ao impacto, insensibilidade a mudanças de temperatura, resistência à perda do fio e a abrasão, dentre outras qualidades. A nitretação, ou formação de nitretos na superfície de certos aços, cria uma camada superficial não só de dureza elevada como também de alta resistência ao desgaste. Desta forma a nitretação é uma opção de tratamento para melhoria das propriedades superficiais de aços ferramenta. Uma das grandes vantagens da nitretação sobre os outros processos termoquímicos de endurecimento superficial está associado ao fato dela ser levada a efeito numa faixa relativamente baixa de temperaturas – entre 500°C e 550°C (no máximo 650°C) – o que, juntamente com a ausência de qualquer outro tratamento superior, reduz ao mínimo as possibilidades de empenamento das peças. As aplicações de nitretação em aço ferramenta mais comuns incluem engrenagens, virabrequins, eixos de cames, roletes, parafusos de extrusão, ferramentas de peças fundidas com matrizes à pressão, matrizes de forjamento, ferramentas de conformação a frio, bicos injetores e ferramentas de moldagem plástica, eixos e peças da embreagem e do motor. A nitretação a plasma é um tratamento termoquímico que é realizado usando uma mistura gasosa contendo nitrogênio. A peça é utilizada como catodo de uma descarga elétrica, gerando um plasma ao redor das peças, levando a um intenso bombardeamento iônico. Na superfície (e acima dela) nitretos ricos em nitrogênio são formados e se decompõem, liberando nitrogênio ativo na superfície, que se difundem em direção ao interior da peça. A presença do plasma permite que o processo de nitretação se dê a temperaturas menores e sem a produção de resíduos. O processo de nitretação a plasma depende da tensão aplicada a peça e da densidade de corrente sobre a

* e-mail: diegoalexandreduarte@gmail.com

mesma, o que é determinado em grande parte pela densidade eletrônica. Neste trabalho, pretende-se investigar o efeito que uma fonte adicional de elétrons (um emissor termiônico) tem sobre o processo de nitretação e o efeito final da peça. Na primeira etapa do trabalho, uma revisão bibliográfica foi feita, assim como o projeto das alterações necessárias no reator e um treinamento para operação do mesmo.

Palavras-chave: Nitretação; plasma; reator; nitrogênio; hidrogênio; oxigênio.

NITRIDING PLASMA IN STEEL TOOL

Tool steels are steels used almost exclusively as building materials for machine tools. This steel grade, are required some special qualities which make them suitable for this use. Depending on the type of use required high hardness, impact resistance, insensitivity to temperature changes, loss of yarn strength and abrasion, among other qualities. The nitriding or nitride formation on the surface of certain steels, creates not only a surface layer of high hardness as well as high wear resistance. Thus nitriding is a treatment option for improving the surface properties of tool steels. One of the great advantages of nitriding over the other thermochemical processes of hardening is associated with the fact that it is carried out at a relatively low temperature range - between 500 ° C and 550 ° C (max 650 ° C) - which, along with the absence of any other superior treatment, minimizes the chance of warping of the parts. The application nitriding most common tool steel include gears, crankshafts, camshafts, rollers, extrusion screws, castings with arrays of pressure tools, forging dies, forming tools cold, nozzles and plastic molding tools , axles and clutch and engine parts. The plasma nitriding is a thermochemical treatment is performed using a gas mixture containing nitrogen. The part is used as the cathode an electric discharge, generating a plasma around the parts, leading to an intense ion bombardment. On the surface (and above it) nitrides rich in nitrogen are formed and decompose, releasing active nitrogen on the surface, that diffuse toward the inside of the piece. The presence allows the plasma nitriding process occurs at lower temperatures and without producing waste. The plasma nitriding process depends on the applied voltage and the piece of current density about the same, which is largely determined by the electron density. In this work, we intend to investigate the effect that an additional source of electrons (a thermionic emitter) has on the nitridation process and the final end of the piece. In the first stage of the work, a literature review was made, as well as the design of the necessary changes in reactor operation and training for the same.

Keywords: Nitriding; plasma; reactor; nitrogen; hydrogen; oxygen.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento das indústrias em todo o mundo, o desenvolvimento de novos tipos de aços foi necessário para se adaptarem as novas exigências do mercado. Dentre os diversos tipos de aço se destacam os aços ferramenta. O aço ferramenta é basicamente qualquer aço usado para a fabricação de ferramentas de corte ou conformação de materiais. São produzidos e processados para atingir um elevado padrão de qualidade. Este tipo de aço se caracteriza pela elevada dureza e resistência à abrasão. A maior parte dos aços ferramenta é forjada. Outra parte é produzida por fundição de precisão ou por metalurgia do pó.

O processo de nitretação a plasma consiste no endurecimento da camada superficial de uma peça através da difusão de nitrogênio. Em uma mistura de gases contendo nitrogênio uma tensão é aplicada para que o plasma gerado se estabilize ao redor da peça. A nitretação a plasma é um processo termoquímico que proporciona uma alta dureza de superfície, promovendo alta resistência ao desgaste e à corrosão. Contudo, a vantagem de aplicar a nitretação a plasma para os aços ferramentas é o fato de esse processo ser feito a uma faixa de temperatura relativamente baixa, entre 500 °C e 650 °C. Este procedimento impede que as propriedades dos aços sejam alteradas bruscamente.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 AÇOS FERRAMENTA

É notório que a primeira utilização do ferro e do aço por um ser humano foi na forma de ferramenta e a arte de endurecer o aço pelo seu aquecimento a elevadas temperaturas e subsequente resfriamento em água é tão antiga, que a data da descoberta desse processo de endurecimento não pode ser apontada com absoluta certeza (CHIAVERINI, 1990). Aços ferramenta são aços utilizados, quase que exclusivamente, como materiais de construção para ferramentas. São utilizados para a usinagem, com ou sem formação de cavacos, de peças no estado frio ou quente. Deles são exigidas algumas qualidades específicas, que os tornam adequados para este fim. Conforme o tipo de utilização exigem-se: alta dureza, resistência a

abrasão, tenacidade ao impacto, resistência à perda de fio, resistência e/ou dureza a quente, insensibilidade a frequentes mudanças de temperatura, ausência de distorções devido a têmpera e outras qualidades mais (HEINRICH, 1975).

Dentre as inúmeras características dos aços ferramentas podemos citar as seguintes: dureza a temperatura ambiente (consiste em que a dureza da ferramenta deve ser superior a dureza da peça a ser exercida a ação da ferramenta), temperabilidade (capacidade de endurecer o aço), resistência ao desgaste (característica do aço de resistir ao desgaste abrasivo e ou natural), tenacidade (capacidade do material de absorver elevada quantidade de esforço sem se romper), resistência mecânica (capacidade de o aço ferramenta suportar elevados esforços estáticos sem apresentar falhas ou deformação), dureza a quente (propriedade que consiste de o aço suportar elevadas temperaturas) e usinabilidade (está ligada a facilidade de corte do material).

2.2 APLICAÇÃO DA NITRETAÇÃO EM AÇOS FERRAMENTA

Os aços para ferramentas e matrizes são classificados em diversos grupos, conforme suas características e aplicações. A maioria desses aços possui elementos de liga e exige cuidados especiais no seu tratamento térmico. As temperaturas empregadas, nessas operações, abrangem a mais larga faixa entre todos os produtos metalúrgicos, desde temperaturas superiores a 1250 °C, no aquecimento, até eventualmente, temperaturas abaixo de zero no resfriamento (CHIAVERINI, 2008).

A nitretação, ou formação de nitretos de natureza complexa na superfície de certos aços, origina uma camada superficial não só de dureza excepcionalmente elevada como também de alta resistência ao desgaste, capaz de reter a dureza a temperaturas até da ordem de 500 °C e ainda resiste a certos tipos de corrosão. Uma das grandes vantagens da nitretação sobre os outros processos termoquímicos de endurecimento superficial reside no fato dela ser levada a efeito numa faixa relativamente baixa de temperaturas – entre 500 °C e 550 °C (no máximo 650 °C) – o que, aliado a ausência de qualquer tratamento superior, reduz ao mínimo as probabilidades de empenamento das peças. Entretanto, os aços clássicos para nitretação são especiais e, como tais, de alto preço e os tempos para nitretação são muito longos, de modo que este processo, para produção em larga escala, exige equipamento de vulto. Verifica-se, igualmente, certo crescimento do aço na nitretação, o qual, contudo, pode ser controlado perfeitamente e descontado no projeto e dimensionamento definitivo das peças (CHIAVERINI, 1990).

As aplicações de nitretação em aço ferramenta mais comuns incluem engrenagens, virabrequins, eixos de cames, roletes, parafusos de extrusão, ferramentas de peças fundidas com matrizes à pressão, matrizes de forjamento, ferramentas de conformação a frio, bicos injetores e ferramentas de moldagem plástica, eixos e peças da embreagem e do motor.

2.3 NITRETAÇÃO A PLASMA

A nitretação a plasma é um moderno tratamento termoquímico que é realizado usando uma mistura contendo nitrogênio e, usualmente, hidrogênio (podendo conter também argônio ou metano). Nesse processo de baixa pressão, uma tensão é aplicada entre a peça e a parede do forno. Uma descarga luminescente (gás ionizado) é gerada ao redor das peças. Na área da superfície que é diretamente bombardeada por íons, nitretos ricos em nitrogênio são formados e se decompõem, liberando nitrogênio ativo na superfície. Devido a esse mecanismo, a blindagem é facilmente realizada cobrindo-se as áreas de interesse com uma manta metálica. A nitretação a plasma permite a modificação da superfície de acordo com as propriedades desejadas. Camadas e perfis de dureza feitos sob medida podem ser atendidos ao se personalizar a mistura gasosa: desde uma superfície sem camada composta com baixas quantidades de hidrogênio de até 20 μm de espessura até uma camada composta com altas quantidades de nitrogênio. A grande faixa de temperatura aplicável possibilita uma grande gama de aplicações.

Os resultados são superfícies muito duras, com pouca ou nenhuma camada branca (a camada branca é quebradiça e pouco tenaz, provocando trincas prematuras quando submetidas a altas pressões e cargas dinâmicas.), com acabamento mais fosco. Além disso, as peças apresentam muito menor empenamento que as nitretadas a gás, devido à baixa temperatura do processo (CHIAVERINI, 2008).

Apesar do processo ter sido desenvolvido em 1932, somente recentemente, tem sido praticado em maior escala. Aparentemente, a nova técnica dá como resultado melhores propriedades de resistência ao desgaste e resistência à fadiga do que os processos de nitretação convencionais (CHIAVERINI, 1990).

2.4 PLASMA

Plasma é uma classe particular de gás ionizado. O termo foi utilizado para descrever descargas elétricas em gases gerados na faixa de descargas luminosas. Assim como nos vasos sanguíneos a circulação de glóbulos vermelhos e glóbulos brancos se dá através do plasma

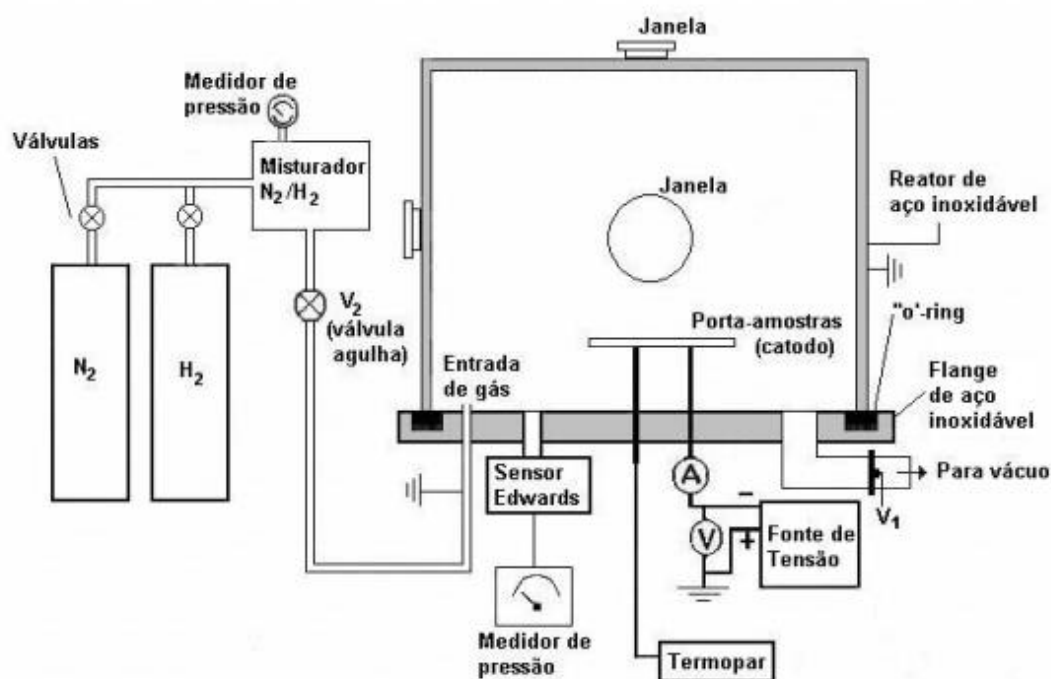
sanguíneo, em tubos de vácuo o transporte de elétrons e íons pode ser facilitado quando o gás rarefeito se encontra parcial ou totalmente ionizado (no estado de plasma). Os estudos iniciaram-se a partir de pesquisas visando prolongar a vida útil de filamentos de tungstênio em lâmpadas a vácuo (GOBBI, Vagner João, 2009).

Um importante parâmetro do plasma é o grau de ionização, que é a fração das espécies ionizadas em relação ao total de partículas. Plasma com um grau de ionização muito menor que a unidade é dito fracamente ionizado. Este tipo de plasma, também denominado de plasma frio, é utilizado no processo da nitretação iônica (plasma). Em geral as características do plasma diferem-se dependendo dos átomos e moléculas constituintes, assim como da densidade eletrônica, temperatura de elétrons e grau de ionização.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização desta pesquisa foi usado o reator de nitretação a plasma que se encontra no Laboratório de Física da UDESC Joinville, o mesmo está montado conforme a figura 01:

Figura 01



Modelo de montagem do reator que se encontra na UDESC.

O reator consiste em uma câmara de aço inoxidável com três janelas para observação (duas laterais e uma superior). Como o processo é realizado em baixa pressão, o sistema é vedado e conectado a um de vácuo rotativa de modo a obter pressões da ordem de 10^{-2} mbar. A

entrada de gases é controlada por medidores de vazão do tipo térmico (um para cada tipo de gás). A pressão é controlada por um medidor do tipo Pirani.

Para a geração do plasma o sistema conta com duas opções de fonte de potência: uma fonte de corrente contínua (1000 V, 2 A) e um fonte Pinnacle Plus (800 V, 5 kW) que pode operar tanto em corrente contínua quanto pulsando até a faixa de kHz.

O principal parâmetro do processo é a temperatura, medida por um termopar do tipo K. O termopar é inserido dentro de uma amostra de modo a ficar o mais próximo possível da superfície do metal.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TREINAMENTO

Para a compreensão das potencialidades do sistema e do processo, a primeira atividade realizada foi uma sequência de treinamento visando a obtenção da prática nas diferentes etapas do processo. O treinamento consistia em realizar testes em amostras aleatórias de metais onde foram aplicados processos de limpeza, de nitretação e oxidação. Foi estabelecida, com base em teste feitos anteriormente, uma temperatura de tratamento de 350 °C.

Antes da realização de qualquer tratamento é necessária a realização de uma limpeza da superfície das amostras de modo a retirar impurezas, gorduras e óxidos da superfície das mesmas. A limpeza pode ser realizada em atmosfera de argônio (onde a remoção dos contaminantes é devido ao impacto dos íons de Ar) ou de hidrogênio (onde a reação química do oxigênio, formando voláteis como H₂O contribui para a limpeza). Optou-se pela utilização de hidrogênio. Os seguintes parâmetros foram utilizados:

Gás: 100% H₂ (Hidrogênio)

Tensão: 467 V

Corrente: 130 mA

Pressão: 1,4 torr

Tempo: 30 minutos

Imediatamente após a limpeza, é dado início ao processo de nitretação, onde nitrogênio é acrescido a mistura. O alto teor de hidrogênio mantido na mistura se justifica pela necessidade da retirada dos óxidos da superfície (uma vez que há oxigênio residual na atmosfera) e sem a remoção deste não hpa como o nitrogênio difundir. Foram aplicados os seguintes parâmetros:

Gás: 90% H₂ (Hidrogênio) e 10% N₂ (Nitrogênio).

Tensão: 425 V

Corrente: 1 A

Pressão: 4,2 torr

Tempo: 120 minutos

Esta etapa é a aplicação dos conceitos sobre nitretação a plasma obtidos no decorrer da pesquisa. Uma tabela com os dados obtidos durante a rampa de aquecimento (tabela 01) foi criada, que consiste no aumento da temperatura até a marca de 350°C.

Tabela 01

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	5,5	354	1,2	78
2	5,6	423	1,2	236
4	1,7	424	0,4	220
6	3,5	424	0,6	266
8	4,1	425	0,6	306
10	4,1	424	0,6	330
12	4,8	424	0,6	341
14	4,7	424	0,6	345
16	4,6	423	0,6	348

P é a pressão, Vs é a tensão, Is a corrente e T a temperatura.

Com esses dados um gráfico (figura 02) foi construindo mostrando a evolução da temperatura durante a rampa de aquecimento (até a estabilização da temperatura de tratamento).

Figura 02

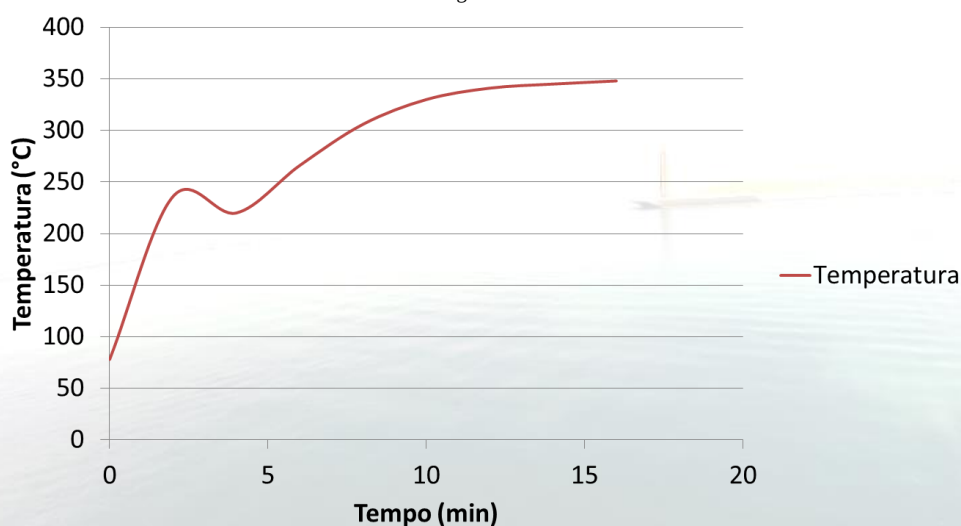


Gráfico no processo de nitretação para a rampa de aquecimento.

Analisando o gráfico, pode se notar que quando o processo passa pela faixa de 5 minutos, a temperatura sofre uma variação extremamente notável, então, considerando os dados obtidos anteriormente, a variação ocorreu quando a pressão teve uma queda brusca. Por fim, pode se afirmar que a variação da pressão afeta diretamente a temperatura.

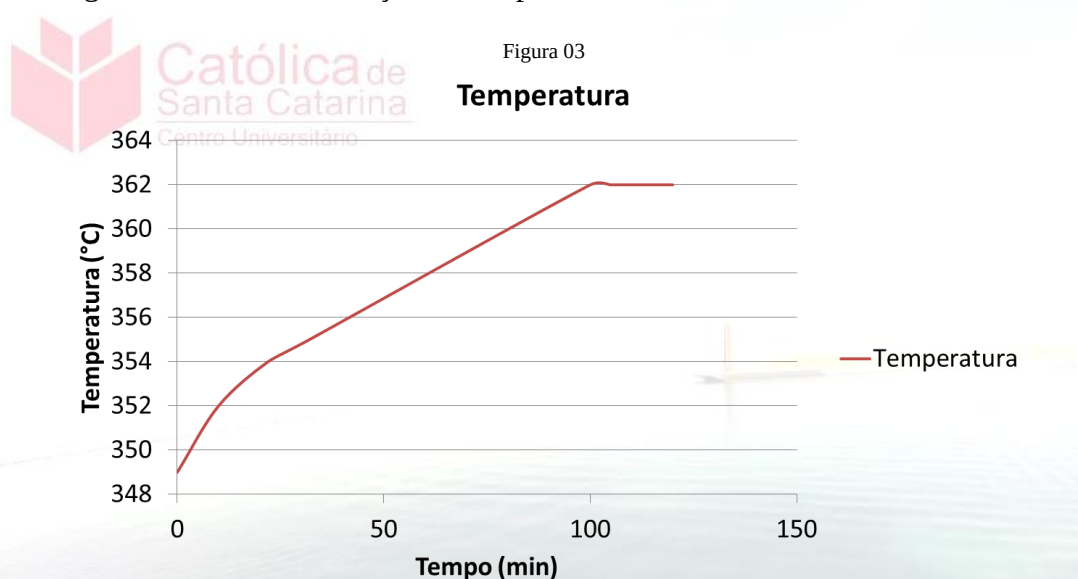
Quando a temperatura passou pela rampa de aquecimento e atingiu 350°C foi então começado a contabilizar o processo de nitretação, conforme a tabela 02.

Tabela 02

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	4,5	424	0,6	349
10	4,2	424	0,4	352
22	4,1	424	0,36	354
32	3,5	425	0,36	355
100	3,5	425	0,36	362
105	4,5	426	0,36	362
117	4,5	426	0,35	362
120	4,4	427	0,35	362

Dados obtidos durante o processo de nitretação após a rampa de aquecimento.

A figura 03 mostra a evolução da temperatura durante o tratamento.



Analisando o gráfico nota-se que quando o tempo atinge a faixa de 100 minutos a temperatura se estabiliza em 362°C, pode então se concluir, como discutido anteriormente, que esse fato ocorreu quando a pressão se estabilizou.

A última etapa do treinamento foi à aplicação de um processo de oxidação, outra possibilidade de tratamento que pode ser executada nesse reator. Esse processo tem a função de formar um óxido protetor contra a corrosão sobre a superfície do material, por exemplo, se o material a ser oxidado for titânio, o processo irá criar um óxido de titânio sobre o material. Essa etapa foi realizada apenas para fins de estudos, não irá ser aplicada diretamente sobre a pesquisa.

Para essa etapa, foram aplicados os seguintes parâmetros:

Gás: 100% O₂ (Oxigênio)

Tensão: 420 V

Corrente: 1 A

Pressão: 2 torr

Tempo: 15 minutos

Durante essa etapa foram obtidos dados do processo no decorrer da rampa de aquecimento, conforme a tabela 03.

Tabela 03

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	1,6	379	1,2	99
2	1,7	418	0,8	251
4	1,0	418	1,08	309
6	2,0	418	1,08	350

Dados do processo de oxidação durante a rampa de aquecimento.

Analisando os dados obtidos durante a rampa de aquecimento pode se notar que a elevação da temperatura foi mais rápida comparada aos outros processos treinados anteriormente, pode então se concluir que o oxigênio é mais reativo que os gases aplicados nos outros processos.

A partir dos dados rampa de aquecimento do processo de oxidação, foi construído um gráfico, conforme a figura 04.

Figura 04

Temperatura

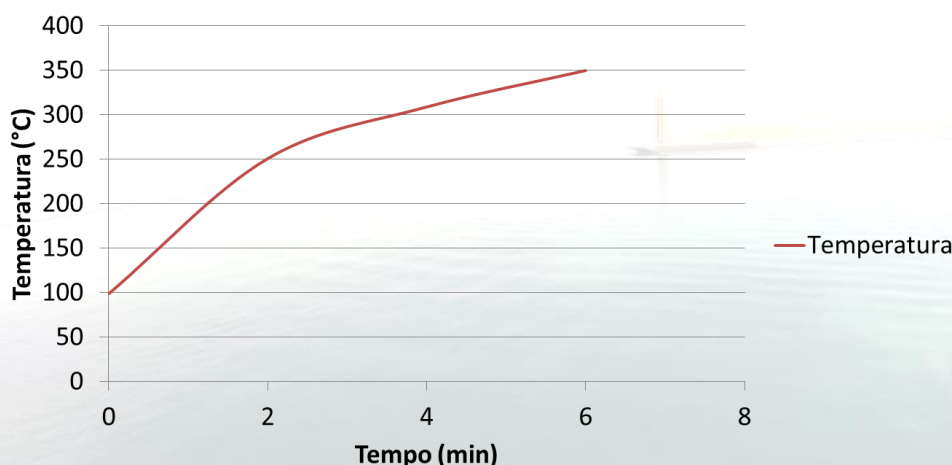


Gráfico da rampa de aquecimento para o processo de oxidação.

Após a temperatura ultrapassar a regra estabelecida, começou a ser contabilizado o tratamento de oxidação, conforme é mostrado na tabela 04.

t (min)	P (torr)	Vs (V)	Is (A)	T (°C)
0	1,8	418	0,9	372
5	1,0	419	0,59	340
10	0,6	419	0,43	318
15	0,5	418	0,2	299

Dados obtidos durante o tratamento de oxidação, após a rampa de aquecimento.

A figura 05 mostra os dados do tratamento de oxidação.

Figura 05

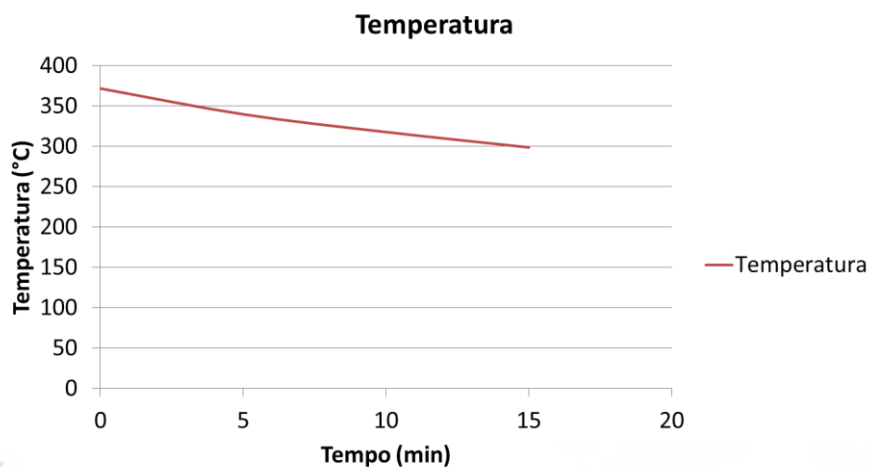


Gráfico da temperatura em função do tempo durante o tratamento de oxidação.

Analisando o gráfico, pode-se notar que a temperatura sofreu uma queda, com base nos dados obtidos anteriormente pode-se afirmar que esse fato ocorreu com a diminuição da pressão.

4.2 PASSADOR ELÉTRICO

Com a finalização da fase de treinamento, o reator teve que ser adaptado para um novo teste do projeto, onde foi introduzido um sistema triodo. Neste sistema um filamento de tungstênio é aquecido pelo aumento da corrente que atravessa o fio. Desta maneira, o filamento passa a emitir elétrons (efeito termiônico), sendo os elétrons emitidos diretamente para a superfície da amostra, sendo assim, o principal objetivo é proteger o circuito elétrico do reator onde os parâmetros para a nitretação (tensão e corrente) são muito altos.

Foram fabricadas duas flanges (figura 06 e figura 07) para introduzir o filamento dentro do reator onde as mesmas foram colocadas em uma das janelas do reator de nitretação (figura 08). Por fim o filamento é ligado a uma fonte para o controle da corrente para que os testes sejam feitos.

Figura 06

Figura 07

Figura 08



Flange superior; Flange inferior; Montagem do conjunto no reator.

Quando iniciado a etapa de testes, foi constatado que o passador elétrico do sistema estava em contato com os outros filamentos, com tal fatalidade deu se inicio a fabricação de um novo passador elétrico para o sistema triodo (figura 09 e figura 10).

Figura 09



Figura 10



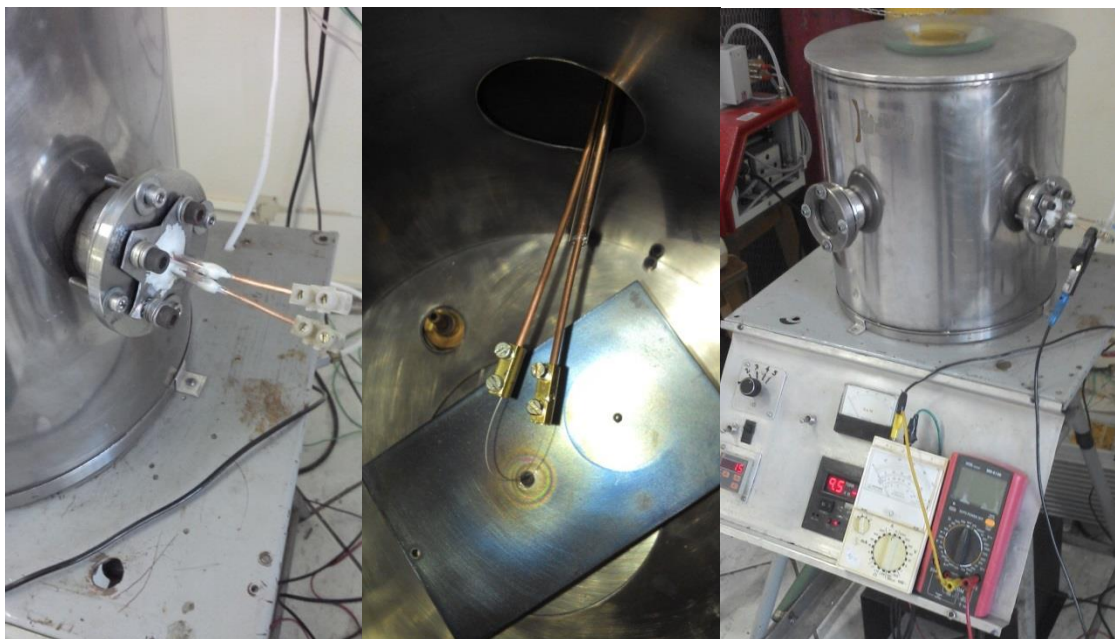
Novo passador elétrico; Montagem do novo passador elétrico no reator.

Após a instalação do novo passador elétrico do sistema triodo testes começaram a ser feitos, mas não foi possível concluir nenhum deles devido a polarização do sistema do reator, pois o mesmo está com o porta amostras polarizado negativamente e quando o sistema triodo é ativado o porta amostras do reator repele em vez de atrair os elétrons emitidos pelo filamento do sistema triodo. Contudo, pesquisas e buscas estão sendo feitas para conseguir alterar a polarização do reator e então concluir e aplicar a função que o sistema triodo fornece.

Figura 11

Figura 12

Figura 13



Montagem da flange no reator; Interior do reator com o sistema triodo instalado juntamente com o filamento de tungstênio; Montagem do setup do reator juntamente com o sistema triodo.

4.3 TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Por fim, foram feitos experimentos para analisar as curvas de transferência de energia. A quantidade de energia transferida para a superfície durante o tratamento é um parâmetro fundamental para determinar as propriedades do material tratado. Sabendo disto, optou-se pela realização de algumas medidas que fornecem dados sobre a transferência de energia em diferentes situações, de modo a orientar trabalhos futuros.

O experimento consiste em comparar a temperatura, pressão, corrente e tensão de três situações com parâmetros de gases distintos usando uma fonte externa ligada durante os primeiros trinta minutos e desligada durante os próximos trinta minutos. A potência do plasma foi mantida constante em 200 W durante todo o processo.

Para dar início aos experimentos, foi ajustada a pressão do reator para 5,0 torr. No primeiro experimento foi usado 100% de H_2 (equivalente a condição de limpeza), no segundo caso foi 90% de H_2 e 10% de N_2 e para o terceiro foi usado uma mistura de 82% H_2 , 4,6% N_2 e 13,4% Ar. Segue abaixo os gráficos das comparações de temperatura (figura 14), pressão (figura 15), corrente (figura 16) e tensão (figura 17).

Figura 14

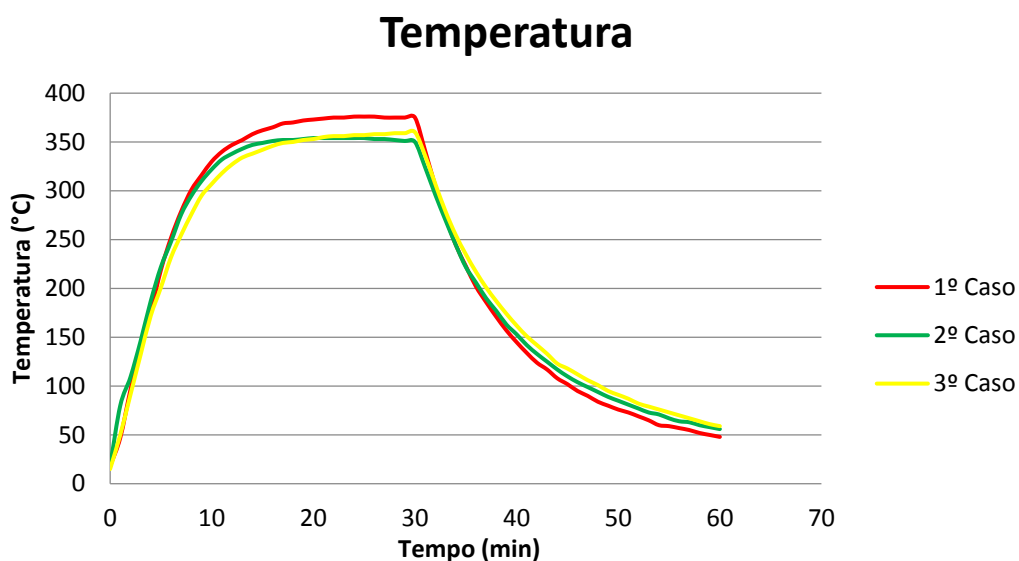


Gráfico da temperatura em função do tempo para os três experimentos.

O gráfico da temperatura mostra que nos três casos não houve grande diferença, apesar da temperatura mais elevada para a mistura de 100 % H_2 , isso significa que os gases utilizados nos diferentes experimentos não influenciaram significativamente na variação de temperatura, o que implica que a energia transferida para a superfície foi praticamente a mesma em todos os casos. Isto se deve ao fato de que a potência aplicada foi mantida constante em 200 W. A maior temperatura (portanto, maior transferência) para hidrogênio puro pode se dever ao fato de ser um processo de limpeza, o que ocasiona algumas instabilidades (arcos) durante o processo.

Figura 15

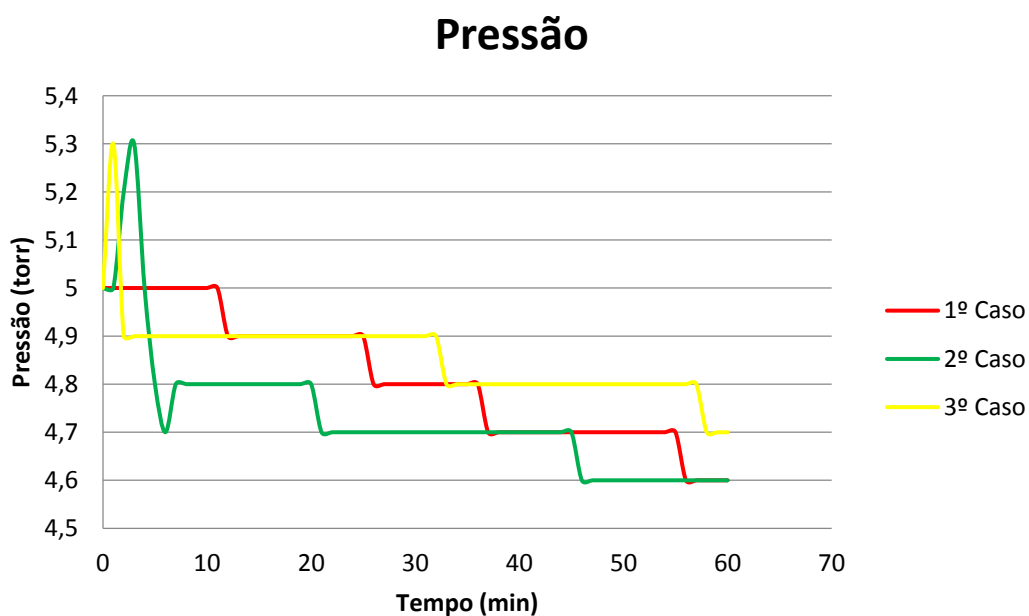


Gráfico da pressão em função do tempo para os três experimentos.

Analisando o gráfico da pressão pode se notar que houve variações dentre os experimentos, mas sempre em torno de 5,0 torr. Essas diferenças são provenientes dos ajustes utilizados durante os experimentos para manter a pressão estável.

Figura 16

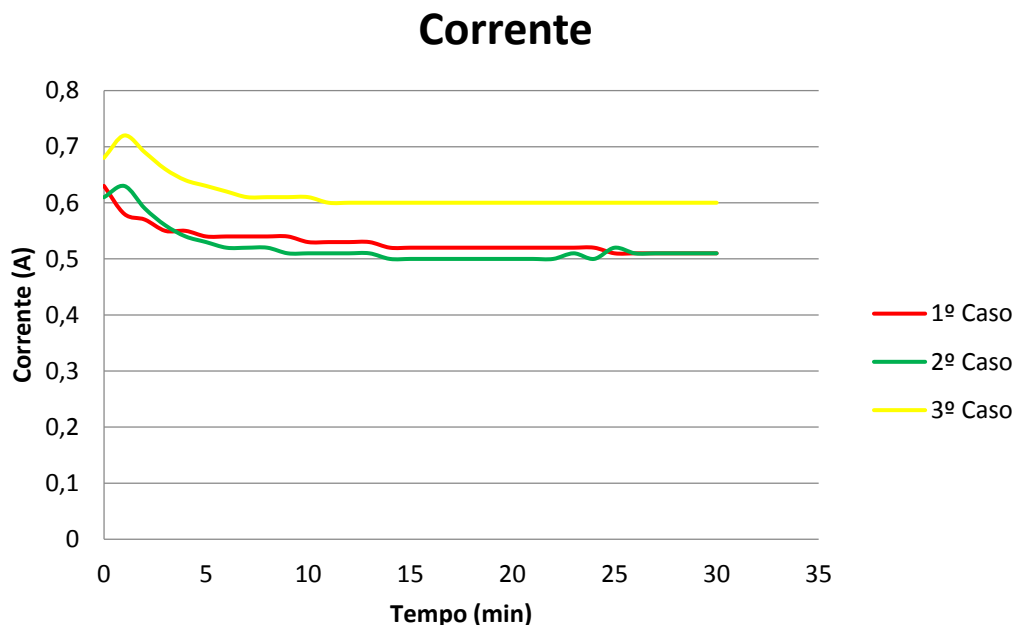


Gráfico da corrente em função do tempo para os três experimentos.

O gráfico da corrente mostra que no terceiro caso, onde foi acrescentado um gás a mais (argônio) do que o segundo caso, a corrente teve uma elevação maior comparada aos outros dois casos. A maior corrente decorre do fato de o argônio ser um gás monatômico, logo mais facilmente ionizado do que as moléculas de nitrogênio e hidrogênio. Deste modo, a produção de íons aumenta e, conseqüentemente a corrente.

Figura 17

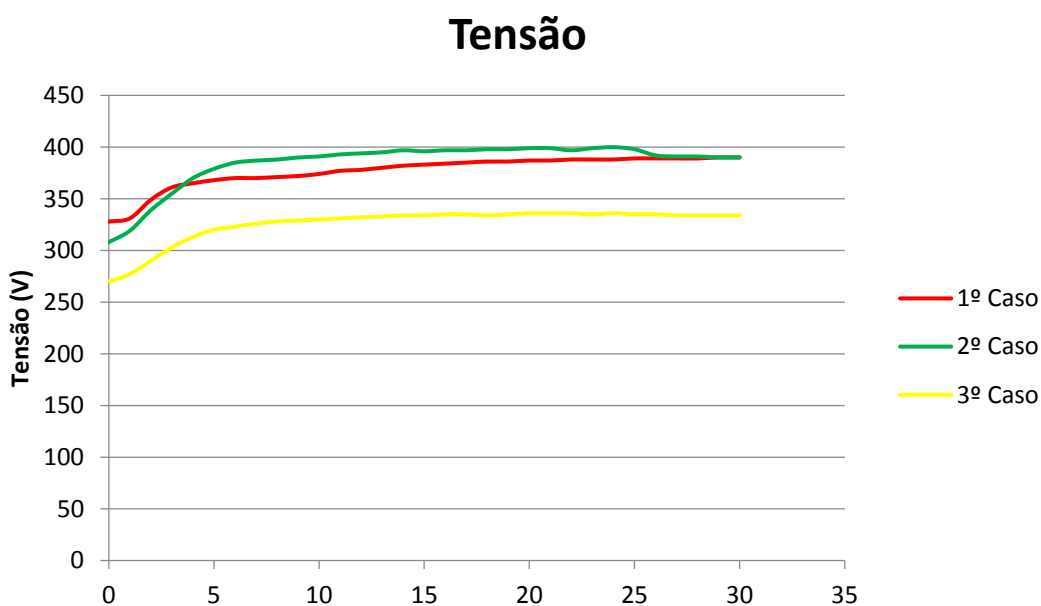


Gráfico da tensão em função do tempo para os três experimentos.

As tensões dos três casos mostradas no gráfico acima mostra que nos dois primeiros casos as tensões não tiveram oscilações consideráveis, entretanto, no terceiro caso a tensão se manteve mais baixa. Uma vez que a corrente aumenta na presença de argônio, a tensão precisa diminuir uma vez que a potência é mantida constante. Logo, a presença do argônio altera as variações de corrente e tensão, no caso da corrente mantém a mesma elevada e para o caso da tensão à mantem reduzida.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O grande mercado industrial em todo mundo necessita que as empresas do ramo de aumento de dureza de ferramentas busquem novas alternativas e a nitretação a plasma para esse segmento é uma opção de grandes vantagens.

A nitretação a plasma é segmento ainda novo no mercado, mas apresenta ter um grande potencial para ser estudado e aplicado em diversas áreas do ramo de materiais por ser um recurso com um custo benefício melhor comparado aos outros métodos existentes no mercado atual.

Com o conhecimento técnico e os dados obtidos neste trabalho será possível aprofundar a investigação sobre os efeitos da mistura gasosa na nitretação de aços ferramentas. Uma vez que duas misturas (H_2+N_2 e $Ar+H_2+N_2$) apresentaram a mesma transferência de energia, mas relações corrente-tensão diferentes será possível tentar correlacionar o efeito das diferentes misturas com a corrente (e ou tensão).

REFERÊNCIAS

- APRESENTAÇÃO DE TRABALHOS
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e ferros fundidos**. 6. Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1990.
- HEINRICH, Ernst. **Os aços ferramentas**. São Paulo: Editora Edgar Blücher LTDA, 1977.
- CHIAVERINI, Vicente. **Tratamento térmico das ligas metálicas**. 1. Ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.
- BODYCOTE, Tratamentos Térmicos. Disponível em: <<http://www.bodycote.com/pt-BR/services/heat-treatment/case-hardening-without-subsequent-hardening-operation/plasma-nitriding.aspx>>. Acesso em: 01 jun. 2014.
- GOBBI, Vagner João. **Influência da nitretação a plasma na resistência ao desgaste microabrasivo do aço ferramenta AISI D2**. Publicação: ENM – 136 A/09. Brasília/DF: 7 de agosto de – 2009.

Sobre os autores:

Julio Sagás possui graduação em Licenciatura Plena em Física pelo Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina (2006), mestrado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2009) e doutorado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (2013). Atualmente é professor adjunto da Universidade do Estado de Santa Catarina. Tem experiência na área de Física, com ênfase em Física de Plasmas e Descargas Elétricas, atuando principalmente nos seguintes temas: plasma, deposição de filmes por magnetron sputtering, combustão assistida por plasma e modelamento de deposições reativas usando o modelo de Berg



Adelmo Selhorst Junior é acadêmico da sexta fase do curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário Católica de Santa Catarina em Joinville; realizou um projeto de pesquisa na área de nitretação a plasma com foco em aços ferramenta.



Diego Alexandre Duarte possui doutorado e mestrado em Física pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e graduação em Física pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC/CCT). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Tem experiência no crescimento de filmes finos através de técnicas assistidas por plasma e desenvolvimento de células solares sensibilizadas por corante. Atua exclusivamente nas seguintes áreas: modelagem numérica de materiais e processos, Influência de parâmetros de plasma em propriedades morfológicas, topográficas, estruturais e óticas de filmes finos semicondutores e desenvolvimento de células solares sensibilizadas por corante.