

O USO DA NITRETAÇÃO A PLASMA EM BROCAS DE AÇO RÁPIDO PARA MELHORIA DE SUAS RESISTÊNCIAS

Daniel de Souza Pereira ¹

André Luiz Martins Pires Horta ²

Resumo: A crescente necessidade de aumentar a produtividade do setor industrial, impulsiona o desenvolvimento de novos tratamentos que possam melhorar o desempenho e a vida útil de ferramentas de corte que visam produtividade e ganho na qualidade dos seus produtos e serviços para satisfazer o cliente final. O processo de nitretação a plasma é um tratamento termoquímico considerado sustentável que promove alterações nas superfícies metálicas, como dureza, resistência ao desgaste e corrosão. O presente artigo é uma revisão bibliográfica que tem o objetivo de conhecer melhor os efeitos da nitretação a plasma na broca de aço rápido a fim de constatar se o processo consegue estender a vida útil da broca e manter a qualidade de fabricação. Através de uma metodologia de pesquisa descritiva e exploratória, o presente artigo buscou mostrar as influências de determinados parâmetros que irão definir a qualidade do processo. Comprovou-se que para o aço M2 as faixas de temperatura de 400°C a 450°C foram as que melhores mostraram resultados. Concluiu-se que a extensão da vida útil está ligada as razões de que o tratamento termoquímico consegue aumentar a dureza superficial, aumentar suas capacidades abrasivas, além de reduzir a capacidade de corrosão e oxidação.

Palavras-Chave: Nitretação Plasma; Aço Rápido; Broca.

Abstract: The growing need to increase the productivity of the industrial sector, drives the development of new treatments that can improve the performance and useful life of cutting tools that aim at productivity and gain in the quality of its products and services to satisfy the end customer. The plasma nitriding process is a thermochemical treatment considered sustainable that promotes changes in metallic surfaces, such as hardness, resistance to wear and corrosion. This article is a bibliographic review that aims to better understand the effects of plasma nitriding on high speed steel drill in order to see if the process can extend the life of the drill and maintain the quality of manufacture. Through a descriptive and exploratory research methodology, this article sought to show the influences of certain vestments that will define the quality of the process. It was proved that for M2 steel, the temperature ranges from 400 ° C to 450 ° C were the ones that showed the best results. It was concluded that the extension of the useful life is linked to the reasons that the thermochemical treatment can increase the surface hardness, increase its abrasive capacities, besides reducing the corrosion and oxidation capacity.

Keywords: Plasma Nitriding; Speed Steel; Drill.

¹ Graduando do curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Ciências da Vida, Campus Sete Lagoas. E-mail: daniel.souza.7@gmail.com

² Doutorando em Engenharia Mecânica; Professor do curso de Engenharia da Faculdade Ciências da Vida. E-mail: andrepireshorta@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As indústrias metal-mecânicas a fim de aumentar a produtividade, procuram por melhorar suas ferramentas de trabalhos, muitas vezes melhorando a vida útil das mesmas, sendo assim fazendo com que o tempo dedicado a substituição de ferramentas seja aproveitado como tempo produtivo, ou seja produzindo mais e usando menor quantidade de ferramentas (SERRA *et al.*, 2017).

Dos processos de fabricação por usinagem, um dos mais executados são as operações de furação, até mesmo porque a maioria das peças existem pelo menos um furo. As brocas de aço rápido são ferramentas altamente usadas nas operações de furações por causa de sua alta velocidade de corte e sua capacidade de penetrar outros materiais a altas temperaturas, porém sem um tratamento de superfície a mesma tende a se desgastar muito rápido, diminuindo o tempo entre as trocas, reduzindo a produtividade (COELHO,2019).

Os tratamentos de superfície são amplamente utilizados com a finalidade de alterar as características físico-químicas das ferramentas, assim sendo, o presente artigo busca responder a seguinte questão norteadora: quais características a nitretação a plasma consegue alterar na superfície da broca de aço rápido, proporcionando a ela maior vida útil?

A justificativa se dá baseando-se na durabilidade que uma broca de aço rápido comum tem, e como os erros nos parâmetros de usinagem podem fazer com que elas se desgastem mais rápido que a um tempo de ciclo normal. A escolha do processo de nitretação iônica ou nitretação a plasma, se dá por suas particularidades como, o tempo de processo, eficiência energética, e seus danos ambientais em comparação com os outros tipos de tratamentos termoquímicos (CRUZ *et al* 2018).

O objetivo final do artigo é constatar se a nitretação a plasma altera significativamente a superfície da broca de aço rápido proporcionando maior vida útil em comparação com uma broca sem tratamento termoquímico superficial. Os objetivos específicos são: definir o que é o aço rápido e qual é o mais utilizado para construção de ferramentas, diferenciar os tratamentos térmicos de termoquímicos, explicar como funciona a nitretação a plasma e mostrar os efeitos da nitretação a plasma na broca de aço rápido.

O presente artigo será uma revisão de literatura, na qual se parte do pressuposto que o tratamento termoquímico de nitretação a plasma beneficia a ferramenta. A partir desse pressuposto, o artigo tem como objetivo estudar sobre o uso do tratamento termoquímico de nitretação a plasma em brocas de aço rápido, a fim de aumentar a vida útil e, conseqüentemente alterar suas propriedades físico-químicas em sua superfície.

Será buscada a metodologia de caráter bibliográfico-descritivo, com a abordagem qualitativa e de método hipotético-dedutivo. O presente artigo apresenta a seguinte estrutura: introdução com a questão norteadora, justificativa com os objetivos a serem alcançados, referencial teórico, metodologia final de pesquisa, análise dos dados coletados e considerações finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aço Ferramenta

Antes de conceituarmos o que é aço ferramenta, primeiramente vamos definir o que é o aço, e segundo a ABNT-NBR 6215/86 define o aço como uma liga de ferro-carbono que em sua composição contém de 0,008% até 2,11% de teor de carbono, contendo somente elementos de liga residuais, ou seja, toda liga de ferro-carbono que contenha essa porcentagem de carbono descrita acima, é denominada aço puro, e quando o valor excede os 2,11% o aço se torna ferro fundido e a partir de 6,70% de carbono, o ferro fundido se torna um material cerâmico.

De acordo com Coelho (2019) com a Revolução Industrial e sua evolução ao longo do século XIX, houve a necessidade por ferramentas que pudessem ser usadas nas condições mais severas, por períodos mais longos de tempo, e com bom desempenho, assim vieram as ligas de aço com altas resistências. Segundo a NBR-6215/86 aços ferramenta são aços de alto teor de carbono, ou de alta liga, destinados à fabricação de ferramentas e matrizes, para trabalho a quente, a frio e para realização de corte.

Os aços rápidos são uma das subdivisões do aço ferramenta e recebem esse nome por terem como uma das principais características a resistência a altas temperaturas, assim como a capacidade de usinar outros metais a altas velocidades. Contendo duas principais divisões, o aço rápido se divide em aços do tipo M (ao Molibdênio) e aços do tipo T (ao Tungstênio), que são elementos obrigatórios nos aços rápidos, eles são elementos de ligas capazes de aumentar a rigidez, capacidade de corte entre outras características. (PARCIANELLO, 2016; COELHO, 2019). A figura abaixo mostra alguns exemplos de ferramentas que são de aço rápido.

FIGURA 1 – Exemplos de ferramentas feitas de aço rápido

FONTE: L.F. Oliveira *Et al* 2017.

Dentre as ramificações do aço rápido, Parcianello (2016) afirma que para construção de brocas, fresas e machos, os aços da série M2 (ao Molibdênio e Tungstênio) que tem propriedades microconstituintes mártensíticos, são os mais comuns quando se trata de aço rápido para usinagem mecânica. Para o aço rápido ser classificado como M2 é preciso respeitar as tolerâncias dos seguintes elementos químicos igual apresenta a tabela abaixo.

Tabela1: Composição química do aço M2 com as tolerâncias máximas e mínimas para cada elemento.

ELEMENTO										
AÇO	C%		Cr%		V%		W%		Mo%	
M2	Máx.	Min.								
	0,88	0,78	4,50	3,75	2,20	1,75	6,75	5,50	5,50	4,50

Fonte: Parcianello 2016 (adaptado).

2.2 Tratamentos Térmicos e Termoquímicos

O tratamento térmico pode ser definido como métodos usados para alterar a estrutura interna do material a fim de construir uma nova estrutura com novos microconstituintes como a austenita, a bainita, a ferrita e a martensita. Esses microconstituintes possibilitam com que mudem as propriedades mecânicas do material (SILVEIRA *et al.*, 2018).

O tratamento térmico consiste em aquecer o material até determinada temperatura e logo em seguida, com condições pré-definidas resfria-lo, a fim de agregar ao material propriedades específicas, ou seja, quando aquecemos o material e após um tempo o resfriamos, ele adquirirá algumas propriedades mecânicas como dureza, elasticidade, ductilidade,

resistência ao choque, resistência a tração, entre outras propriedades sem que se modifique a forma física do material. Os principais fatores que devem ser considerados em um tratamento térmico são o aquecimento, tempo de permanência à temperatura, atmosfera do local de aquecimento e modo de resfriamento (CORTEZ *et al.*, 2007).

De acordo com Chiaverini (1986 p.96), os tratamentos termoquímicos têm como finalidade o endurecimento de um material, alterando a composição da camada superficial, com esse endurecimento busca-se de aumentar a dureza e a resistência ao desgaste da superfície, ao mesmo tempo em que o núcleo do material se mantém dúctil e tenaz. No processo de tratamento termoquímico, podem introduzir diversos elementos químicos como: boro, carbono, cromo, manganês, molibdênio, nitrogênio, titânio, tungstênio, vanádio entre outros elementos químicos.

Alguns dos tratamentos termoquímicos são a cementação, na qual é o processo de introduz carbono na superfície do material, a boretção que é o tratamento que adiciona o elemento químico boro à estrutura do material, a cianetação é quando se aquece o material e adiciona carbono e nitrogênio, fazendo o resfriamento em tanques de cianeto de sódio, a carbonitreção, onde o carbono e o nitrogênio são fornecidos em meios gasosos, a nitreção é outro tratamento na qual introduz nitrogênio na estrutura do material (REBOUÇAS JÚNIOR, 2020).

2.3 Nitreção

A nitreção é um dos tratamentos de superfície, e tem o objetivo de criar uma camada fina e endurecida nos materiais, ou seja, ela é um processo de endurecimento do aço através da ação do nitrogênio, o processo é feito com temperaturas abaixo da temperatura usada para fazer a cementação. No entanto a nitreção a banho de sal é bastante demorada, podendo chegar a 96 horas de processo. A nitreção a gás tem um tempo bem menor, em torno de 2 horas, porém é muito agressiva ao ecossistema, pela razão de usar amônia em seu estado gasoso, e de também não ser feita em um ambiente controlado. (CHIAVERINI, 1986).

Os metais que passaram pelo processo de nitreção, tendem a adquirem uma elevada dureza superficial, além de alterar suas resistências ao desgaste, fadiga, corrosão e a temperatura. As peças que passam por esse processo são menos suscetíveis a empenamento ou

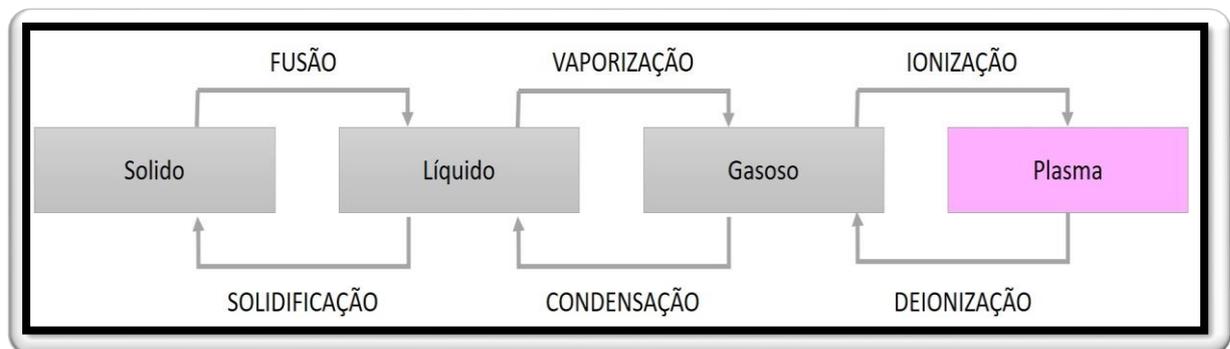
distorção e não tendo a necessidade de qualquer outro tratamento térmico posterior (REBOUÇAS JÚNIOR, 2020).

2.3.1 Nitretação a plasma

São comumente usados três tipos de nitretação, a nitretação a gás, a nitretação líquida ou banho de sal, e a que iremos falar nesse tópico, que é a nitretação a plasma.

Conhecida como nitretação iônica ou nitretação a plasma, este método de endurecimento superficial consiste em introduzir o nitrogênio na superfície do material através de descargas de plasma, que é conhecido também como quarto estado físico da matéria, como mostra a figura a seguir. (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

FIGURA 2 – Os quatro estados físicos da matéria



FONTE Próprio Autor

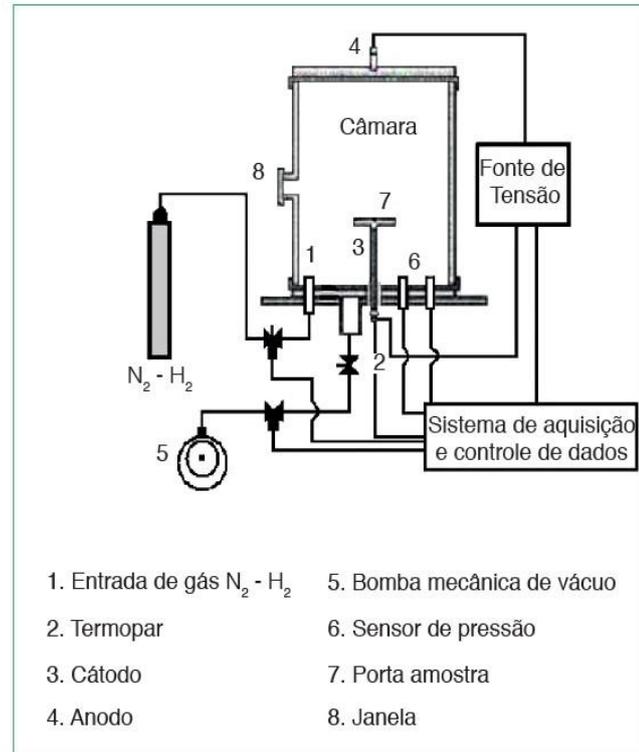
O tratamento termoquímico baseia-se em introduzir o material a ser nitretado em uma câmara a um ambiente controlado a baixa pressão auxiliado por uma bomba de vácuo, na presença de uma mistura gasosa (hidrogênio e argônio), contendo também o nitrogênio. O equipamento em conjunto com uma fonte de tensão, promove a aplicação de um potencial elétrico capaz de desencadear o regime de descarga luminescente (plasma), promovendo o aquecimento e a pulverização do nitrogênio, fazendo a incorporação no material a ser nitretado (substrato) (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Com o aumento da temperatura, as partículas podem penetrar no material fazendo a alteração do substrato, podendo a vir elevar sua dureza, sua resistência ao desgaste e também sua resistência a corrosão, entretanto essas características não são aplicáveis para aços inoxidáveis (FREITAS, 2017).

Segundo Costa *Et.al.* (2021) a nitretação por gaiola catódica, é a evolução da nitretação a plasma convencional. A evolução do processo termoquímico tem como objetivo o

aperfeiçoamento da nitretação nas bordas, diminuição do risco de ocorrência do arco elétrico. A diferença entre os processos é que os substratos são mantidos dentro de uma placa com características isolantes. A figura a seguir mostra em um desenho esquemático como é uma câmara de nitretação a plasma e quais são seus elementos.

FIGURA 3 – Diagrama esquemático do sistema de nitretação a plasma



FONTE: Cruz *et al* 2018 (adaptado).

O processo de revestimento superficial por plasma tem alguns benefícios, como conseguir trabalhar em temperaturas mais baixas que os processos convencionais, a mínima poluição ambiental e o consumo energético (DALCIN, 2020).

Dentre essas vantagens, Oliveira *et al* (2017) afirma ser necessário ter um ótimo controle do processo para que não ocorra o risco de acontecer o arco elétrico, que é uma ruptura dielétrica, na qual descarrega o plasma, fazendo uma fagulha instantânea quando entra em contato com o ar, danificando o processo ou a peça.

2.4 Brocas de aço rápido nitretadas a plasma

A fim de diminuir o tempo não produtivo, melhorar os processos e aumentar a produtividade, empresas do ramo de usinagem estão investindo no aperfeiçoamento de suas ferramentas, e o tratamento da camada superficial vem sendo amplamente usado, e por sua versatilidade no processo de furação as brocas HSS (*High Speed-Steel*), traduzindo para o português-brasileiro brocas de aço rápido, que são preparadas para trabalhar em altas temperaturas e velocidades, quando são passadas pelo tratamento termoquímico, adquirem melhor resistência ao desgaste, resistência a corrosão, entre outras características, com tudo mantendo a tenacidade em seu núcleo (SANTOS *et al.*, 2013).

Outro modo que vem sendo utilizado, é o PVD (Physical Vapor Deposition) ou deposição física de vapor, conhecido como tratamento duplex. Ele é mais eficiente para aplicação em ferramentas. O material mais comum para esse procedimento é o nitreto de titânio – TIN, que é destinado a melhorias de peças, evitando desgaste prematuro e melhorando a vida útil de componentes, tendo como característica do revestimento de nitreto de titânio, a elevada dureza, a estabilidade térmica e a resistência à abrasão. O fato de utilizar praticamente o mesmo equipamento de nitretação é uma vantagem importante no que se refere a viabilidade econômica do processo (SERRA *et al.*, 2020).

O tratamento duplex consiste em obter uma superfície onde o revestimento de elevada dureza é suportado por uma camada espessa e endurecida pelas reações da nitretação, diminuindo a diferença de propriedades mecânicas entre o revestimento e o aço ferramenta. Entretanto se o processo de PVD for feito em altas temperaturas, por volta dos 850°C a resistência poderá ser prejudicada. A fim de evitar danos na peça o processo precisa ser feito abaixo dos 600°C (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Com sua longa vida útil, as brocas de metal duro são bastante usadas nos processos de usinagem, principalmente em acabamentos de diversos materiais. Porém, as brocas de aço rápido conseguem atingir velocidades maiores, usinam furos de pequenos diâmetros que exigem grande rotação das máquinas. Dessa forma, torna-se mais apropriada a realização do tratamento superficial em brocas de aço rápido a fim de que elas adquiram as propriedades superficiais do metal duro, e continuem com suas características de aço rápido originais (SERRA *et al.*, 2020).

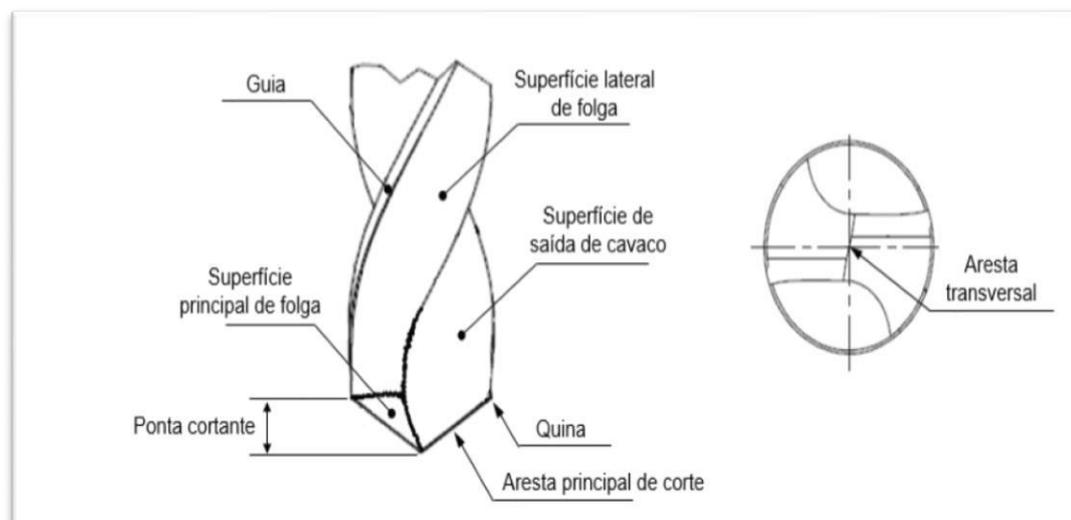
2.5 Furação

Na furação, a ferramenta (broca) executa uma cavidade cilíndrica na peça, sendo esta feita por um movimento combinado de rotação e deslocamento linear ao longo do eixo do furo.

Como afirma Policena *et al.*, (2019) “A furação é um dos processos mais utilizados na fabricação e constitui cerca de 33% da usinagem. Além disso, 25% do processo de fabricação completo consiste em furação”. Geralmente, a furação é realizada no fim do processo de manufatura quando as operações anteriores já melhoraram o valor da peça inicial. Embora pareça simples, a furação é uma operação complexa e pode ter graves consequências se sua ferramenta falhar ou usinar além de sua capacidade. Alguns fatores como a velocidade de corte, velocidade de avanço, rotação e os materiais a serem usinados, influenciam diretamente na durabilidade da broca.

A broca helicoidal, que é a mais comum para a operação de furação, contém pelo menos duas arestas cortantes as quais são as responsáveis pela remoção do cavaco. Ambas as arestas de corte de uma broca operam com ângulo de saída, ângulo de inclinação e ângulo de folga variáveis ao longo da aresta de corte. Os cavacos saem de forma em espiral, seguindo os canais helicoidais que ela tem. A rigidez da broca está ligada diretamente a espessura de seu núcleo, ou seja, quanto maior o núcleo, maior será a rigidez também, no entanto a área de saída do cavaco se encontrará reduzida, conduzindo a uma disposição ruim do cavaco (FREITAS, 2017). A figura a seguir mostra as partes constituintes da ponta de uma broca helicoidal.

FIGURA 4 – Partes básicas constituintes da ponta de uma broca helicoidal



FONTE: Freitas 2017 (adaptado).

3. METODOLOGIA

Segundo Albuquerque e Cavalcante (2017), “um projeto de pesquisa nasce quando um problema, ou um questionamento, passa a demandar respostas que ainda não foram formuladas, ou quando as existentes são insuficientes para sua compreensão”, e a metodologia científica, que é um conjunto de técnicas e processos empregados para a formulação de uma produção científica, ou seja, é o caminho para alcançar as respostas. A metodologia é o estudo dos métodos, especialmente métodos das ciências. É um processo utilizado para dirigir uma investigação da verdade, no estudo de uma ciência ou para alcançar um fim determinado.

O presente artigo é uma revisão de literatura sobre o uso de tratamento termoquímico, mais precisamente a nitretação a plasma em brocas de aço rápido para a melhoria de suas propriedades físico-químicas. O estudo tem por finalidade analisar se o uso do tratamento de nitretação a plasma melhora as propriedades de resistência ao desgaste, a corrosão e a resistência a fadiga. A pesquisa é de modo teórico, de finalidade básica pura e de caráter descritiva.

Para realização das buscas de conteúdo para o referencial teórico, foram usados descritores como: tratamento termoquímico sustentável, modificação do aço ferramenta, extensão da vida útil de brocas de aço rápido, nitretação iônica entre outras. As pesquisas foram feitas em acervos de dados confiáveis, tais como a plataforma da CAPES, o Google acadêmico, e a plataforma da *SciELO*.

Quanto a natureza da pesquisa, é definida como qualitativa, ou seja, o resultado se dará a partir dos dados coletados dos artigos usados no referencial teórico, e ao final será constatado se a nitretação a plasma garante uma maior vida útil em brocas de aço rápido.

4. ANÁLISE DE DADOS

Com o desenvolvimento do referencial teórico, juntamente com os dados coletados a partir dos artigos usados como referência, foi possível construir uma análise descritiva e qualitativa das informações com o intuito de conhecer melhor as reações do aço rápido ao ser submetido ao tratamento de nitretação a plasma.

4.1 Aço rápido

O aço ferramenta faz parte do seleto grupo de aços especiais. Trata-se de classe de aço de alta liga muito utilizado em ferramentas de corte, matrizes e moldes. Os aços rápidos assim como o metal duro, são tipos de aços ferramentas muito utilizadas quando o assunto é usinagem mecânica. Dentre as variedades de brocas de aços rápidos um dos metais que mais sobressai por causa das suas características abrasivas, baixa porcentagem de deformação e estabilidade a altas temperatura, é a aço martensítico do grupo M, o aço M2.

4.2 Temperatura

A nitretação a plasma não é nenhum tratamento termoquímico novo, no entanto ele não era comumente aplicado a aços ferramentas, e sim a modificação de tubos e chapas em sua grande maioria. Alguns dos artigos usados como base no referencial teórico fizeram testes em relação a nitretação a plasma, cada estudo realizou o teste em diferentes temperaturas, contudo as temperaturas não ultrapassaram os 600°C, concordando com a afirmação citada por Almeida *Et.al.* (2016).

O estudo realizado por Serra (2017 e 2020) e seus colaboradores, sobre os efeitos da nitretação a plasma aplicadas no aço rápido, foi realizada a comparação de características tribológicas entre uma broca que passou somente pelo processo térmico no momento da sua fabricação, com outras brocas que foram tratadas pelo processo de nitretação iônica. Os resultados comprovaram que a nitretação realizada em todas as temperaturas testadas elevaram a microdureza superficial de todas as brocas, em comparação com a broca sem o revestimento termoquímico.

Entretanto os resultados do processo de nitretação a plasma com a temperatura partindo de 500°C não obtiveram resultados satisfatórios, em razão de que os estudos mostraram não conformidade, tais como: a dureza excessiva da superfície causando desgaste prematuro, o princípio de aparição da camada de compósitos, que por consequência altera a rugosidade superficial, e pôr fim a redução da dureza do núcleo. Os estudos guiados por Santos *Et al.* (2013) definiram que entre 500°C a 575°C é denominada temperatura crítica, colocando qualquer valor de temperatura acima disso inviável para o processo.

Os testes conduzidos com temperaturas de 400°C e 450°C foram os que alcançaram os melhores resultados, constatando uma melhora nas características tribológicas do material, sem afetar a tenacidade do núcleo. A consequência desse resultado está ligada ao motivo de que temperatura que não chegou a 500°C, na qual começa as incidências de não conformidades no aço M2.

Com o aumento de temperatura no processo, possibilitou a criação de camadas de compósitos, que estão relacionada com alteração da rugosidade superficial em alguns casos. A rugosidade pode estar ligada a formação da camada de compósitos, que antes era associada ao uso excessivo de nitrogênio, como constatou Oliveira *Et al.* (2017), porem com os estudos de Serra *Et al.* (2020), comprovou que altas temperaturas podem vir a causar também o aparecimento da camada de compósitos.

Entretanto o núcleo sofreu alteração de uma forma negativa, na qual foi a ocorrência de perda de dureza em seu núcleo, indicando que a broca sofreu um processo térmico parecido com o de revenimento. Quando a Rigidez na aresta de corte é elevada a broca tende a ter uma taxa de desgaste maior nos primeiros furos, podendo vir a estabilizar a taxa de desgaste posteriormente.

4.3 Misturas gasosas

Ao optar pelo uso da nitretação a plasma um ponto importante a se observar, é a proporção de mistura gasosa que será usada para o tratamento. O N₂ (nitrogênio) contribuirá para a alteração das propriedades mecânicas e o H₂ (hidrogênio) por causa da sua capacidade de inflamar contribuirá juntamente com outros parâmetros a profundidade da camada de difusão. O Ar (argônio) não foi utilizado no processo porem ele apresenta uma ação física que em conjunto com o nitrogênio se torna eficaz na remoção de óxidos na superfície.

Um dos fatores que indicará a espessura a ser nitretada juntamente com a temperatura de processo, é a proporcionalidade da mistura gasosa. O estudo realizado por Oliveira (2017) e seus colaboradores sobre o aço M2 aplicado a fabricação de ferramentas denotou que o excesso de N₂ no processo seja capaz de provocar a criação da “camada branca”, na qual é uma camada de compósitos que fica acima da zona de difusão, aumentando a dureza excessiva da superfície vindo a aumentar a taxa de desgaste por utilização. Ou seja, para o projeto se tornar

viável é necessário fazer a ponderação da proporção gasosa a ser utilizada em companhia da temperatura, da pressão e do tempo de processo.

Ao regular o processo para ter baixa porcentagem liberada de nitrogênio, permitiu que não ocorresse a aparição de camada de compósitos que causa dureza excessiva que por consequência causa o aumento da rugosidade superficial e do ruído excessivo.

4.4 Preparação

A preparação é o processo antecede a nitretação a plasma. Quando a preparação foi efetuada com o jato de areia observou-se uma zona de difusão (camada nitretada) menor que os demais processos de preparação, entretanto foi o processo de preparação que mais beneficiou o material no quesito da redução da taxa de desgaste, implicando uma durabilidade maior da ferramenta.

O aumento da microdureza constatado pelos estudos de Serra *Et al.* (2020), podem estar relacionados com a preparação por *Sputtering* que propiciou uma redução de dureza superficial, conseguindo que a nitretação consiga penetrar mais profundamente na peça. O uso de polimento também propicia uma maior profundidade de penetração no substrato pois assim como o *Sputtering*, o polimento tende a reduzir as tensões residuais.

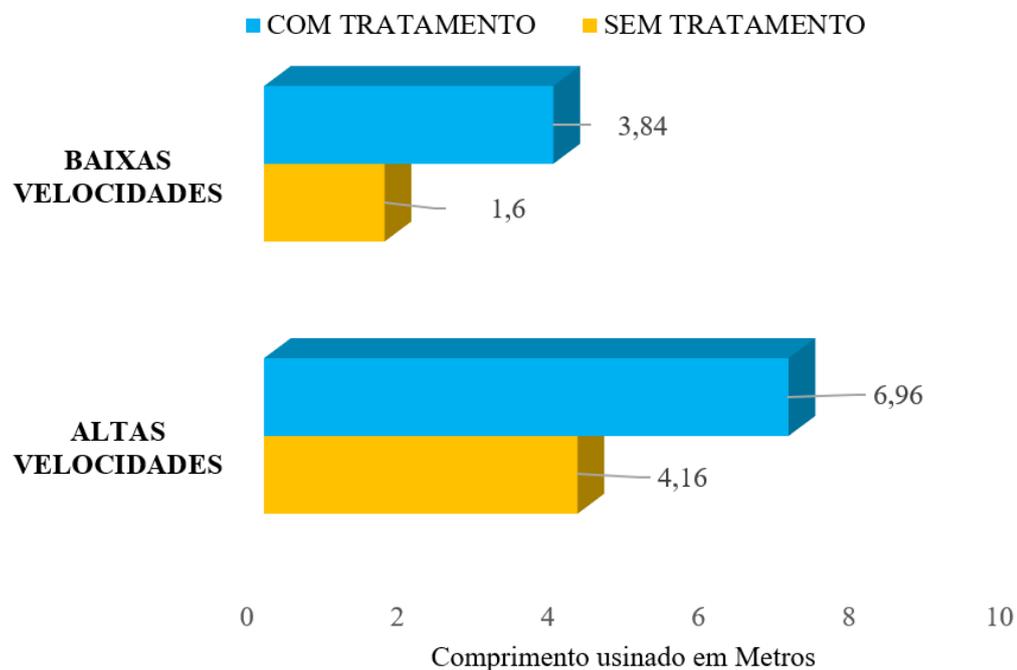
As preparações para o tratamento foram completamente diferentes. No entanto, mesmo sendo bem distintas, ambas conseguiram atribuir ótimos resultados ao processo de nitretação a plasma. No processo é necessário ter uma baixa pressão para melhor controle dos gases, e em ambos casos esse fator foi respeitado, mantendo uma baixa variação de pressão entre um estudo e outro.

4.5 Testes realizados a baixas e altas velocidades de cortes

Os estudos por realizados Santos (2013) e seus colaboradores, procurou saber a eficácia da nitretação a plasma, em brocas de aço rápido operando em altas e baixas velocidades de cortes. Os critérios de paradas foram os ruídos excessivos e desgaste máximo do flanco que era em torno de 0,15 mm. Os testes mostraram um maior rendimento da broca nitretada a baixas

velocidades, chegando a usinar mais que o dobro de furos do que a broca sem tratamento de nitretação a plasma. A altas velocidades o rendimento chegou a um pouco mais que 67% a mais que a broca sem tratamento. O gráfico abaixo mostra a relação de desgaste entre uma broca de aço rápido com tratamento e sem o tratamento de nitretação a plasma, a altas e baixas velocidades de cortes. O material usado para fazer os furos foi ferro fundido nodular que apresenta ter alta resistência a tração e ductilidade, se tornando um material que gasta muito a flanco de corte das ferramentas de usinagem.

FIGURA 5 – Comparação das Brocas com e sem tratamento com baixas e altas velocidades de cortes



Fonte: Próprio Autor

4.6 Parâmetros do Processo

Os aços rápidos são considerados aços intermediários, por serem mais resistentes que o aço carbono porém no quesito resistência eles são inferiores aos metais duros. Com o aço martensítico M2 não é diferente, e de acordo com os estudos guiados por Serra *Et al* (2020) e Oliveira *Et al*. (2017) o quadro abaixo exibe os parâmetros utilizados para o processo de nitretação a plasma que obtiveram os melhores resultados.

QUADRO 1: Variáveis do processo de nitretação a plasma que obtiveram os melhores resultados, com base nos artigos estudados.

Variáveis do Processo	Parâmetros descritos e usados por P. L. C. Serra <i>Et al.</i>	Parâmetros descrito e usados por L.F. Oliveira <i>Et al.</i>
	Parâmetros do Processo	
Material	M2	M2
Temperatura	450°C	400°C
Mistura Gasosa	25 % N ₂ 75% H ₂	5 % N ₂ 95% H ₂
Preparação	Limpeza Por Sputtering Ar 50% e H ₂ 50% Tempo de limpeza: 1 hora	Jato de areia
Tempo	5 Horas	30 minutos
Pressão de Processo	3 Torr = 0.00039997 Mpa	5 mBar = 3,75031Torr = 0.0005 Mpa
Material usinado	SAE 4340	AISI 4340

FONTE: Próprio autor 2021

De acordo com resultados analisados, para o aço M2 foi possível observar que a melhor faixa de temperatura é começando em torno dos 400°C, e evitando deixar ultrapassar aos 500°C, para que não ocorra as não conformidades citadas acima. A mistura gasosa precisa conter uma quantidade bem maior de hidrogênio do que o nitrogênio, pois como dito anteriormente o excesso de nitrogênio é um dos causadores da “camada branca”.

Alguns dos estudos não usaram o fluido refrigerante, para que fosse possível chegar ao limite máximo da broca, ou seja quando a broca trabalhar com fluido refrigerante a quantidade de furos tende a aumentar. Em seu estudo Oliveira (2017) mostra que quando o nitrogênio está em torno dos 25% ocorreu uma melhoria na resistência ao desgaste, e a medida que aumenta a quantidade de N₂ a resistência tende a diminuir, comparando com uma broca sem tratamento.

A escolha do tempo de processo, junto o modo escolhido de preparação irá impactar diretamente a profundidade da camada nitretada. É importante ficar atento aos outros parâmetros, pois se a temperatura de processo ou quantidade de N₂ for alta e se for escolhido um tempo muito longo, a probabilidade de que ao fim do processo a broca saia danificada seja alta. De acordo com todos artigos mencionados, recomenda-se usar a bomba de baixa pressão entre 3 a 4,5 torr.

Para a nitretação a plasma atingir bons resultados, são necessários os ajustes bem definidos dos parâmetros de processos, para que não haja a ocorrência de não conformidades, vindo a prejudicar a peça e que os resultados obtidos não sejam satisfatórios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos fatores que impulsionaram a realização deste estudo foi a durabilidade da broca de aço rápido sem um tratamento de superfície, junto com erros atrelados a parâmetros de usinagem. Com isso surgiu o interesse em estudar sobre a nitretação a plasma aplicada ao aço ferramenta para melhoria de suas resistências.

Com a conclusão da análise de dados e junto com o auxílio do referencial teórico, foi possível observar que a nitretação a plasma consegue prolongar a vida útil da broca de aço rápido do tipo M2, modificando suas características iniciais, como a capacidade corrosiva, capacidade abrasiva e a resistência ao desgaste. No entanto deve-se escolher com cuidado os parâmetros de tratamento pois é possível que determinadas combinações possa vir a formar camadas indesejadas. Deve-se fazer um estudo prévio das consequências de cada parâmetro, para determinar qual a melhor combinação para a sua ferramenta.

O estudo partiu do pressuposto de que o tratamento termoquímico de nitretação a plasma beneficia a ferramenta, e foi possível observar que a extensão da vida útil está ligada as razões de que o tratamento termoquímico consegue aumentar a dureza superficial, aumentar suas capacidades abrasivas, além de reduzir a capacidade de corrosão e oxidação.

Diante do estudo proposto uma das adversidades encontras, foi a baixa quantidade de publicações sobre os materiais usados na construção do aço rápido, restringindo o estudo ao aço rápido ao molibdênio. Outra limitação se refere a pouca abrangência sobre os parâmetros de pressão e sobre a preparação para fazer o processo termoquímico.

Para trabalhos futuros sugere-se que o estudo da nitretação a plasma em aço ferramenta seja voltado para fresas, machos e até mesmo as brocas, porém que o estudo seja feito com outros materiais, que não seja o M2. Outra sugestão seria a aplicação deste estudo em uma linha de produção para mostrar na pratica os possíveis ganhos de produtividade e disponibilidade no equipamento.

Este estudo contribuiu para conhecer melhor as influências da nitretação a plasma aplicada na broca de aço rápido, assim como conhecer as vantagens e os riscos de usar este processo de tratamento para modificar a superfície do material.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.C.L.; CAVALCANTE, I.F. Desmistificando O Projeto De Pesquisa. **Inter-Legere**, [S. L.], V. 2, N. 26, P. 1-5, 2019. Doi <https://Doi.Org/10.21680/19821662.2019v2n26id16245>. Disponível em: <https://Periodicos.Ufrn.Br/Interlegere/Article/View/16245>. Acesso em: 27 Out. 2020.
- ALMEIDA, G.F.C *et al.* Estudo Da Nitretação Por Plasma Na Fluência Da Liga Ti-6al4v. **Tecnologia Metal Material Mineração**, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 331-339, 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.1068>. Disponível em: <https://tecnologiamm.com.br/article/10.4322/2176-1523.1068/pdf/tmm-13-4-331.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6215/86: Produtos Siderúrgicos: Terminologia**. Rio de Janeiro, p. 1-10. 1986. Disponível em: <http://www.brascopper.ind.br/dgq/Israel/Colet%C3%A2nea%20de%20Normas/NBR%2006215%20-%201986%20-%20Terminologia%20Produtos%20Sider%C3%BArgicos.pdf>. Acesso em: 05/09/2020.
- CHAVERINI, V. Tratamentos térmicos e termoquímicos das ligas ferro-Carbono. *In*: CHAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: Materiais de construção Mecânica**. 2. ed. rev. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. v. 3, cap. IX, p. 96-114.
- COELHO, E.S.R. Análise comparativa da microdureza de um aço rápido temperado e revenido em temperaturas variadas. **UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO**, Mossoró-RN, p. 14-49, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/4592/1/EmillySRC_MONO.pdf. Acesso em: 27 out. 2020.
- CORTEZ, L.D ET AL. TRATAMENTOS TÉRMICOS DA LIGA TI-6AL-4V PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIO DE FLUÊNCIA. **ANAIS DO XIII ENCITA 2007**, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, ED. 13 ED, P. 19, 2007.
- COSTA, E. S *et al.* Nitretação e deposição por plasma em ferramentas de aços AISI M2 e D2 utilizadas na conformação e estampagem de pregos: um estudo de viabilidade. **Revista Matéria**, Brasil, v. 26, n. 1, p. 1-13, 2021.
- CRUZ, D. *et al.* Projeto, Construção E Comissionamento De Um Reator Para Tratamento De Nitretação Iônica A Plasma Em Aço P20. **RBAV: Revista Brasileira de Aplicação a vácuo**, Sorocaba, v. 37, n. 3, p. 102-112, 2018. DOI <https://doi.org/10.17563/rbav.v37i3.1107>. Disponível em: <http://www.sbvacu.org.br/rbav/index.php/rbav/article/view/1107>. Acesso em: 27 out. 2020.
- DALCIN, R. L *et al.* Microestrutura e Propriedades de Desgaste do Aço Bainítico de Resfriamento Contínuo DIN 18MnCrSiMo6-4 Nitretado a Plasma em Diferentes Temperaturas. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, ed. 2, p. 1-11, 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200002.1059>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151770762020000200350&lang=pt. Acesso em: 2 out. 2020.
- DOS SANTOS, E.M; KEICKOW, F; CASARIN, J.J. Avaliação Do Desgaste De Brocas

Helicoidais De Aço-Rápido (Hss) Modificadas Superficialmente Por Nitretação A Plasma. **Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI**, Brasil, v. 9, n. 16, p. 68-76, 2013.

ISSN 1809-1636. Disponível em:

http://www2.reitoria.uri.br/~vivencias/Numero_016/artigos/pdf/Artigo_07.pdf. Acesso em: 30 set. 2020.

FREITAS, F. Estudo do desempenho da nitretação em brocas de HSS M2 com revestimento à base de alcr na furação de ferro fundido cinzento. **Universidade federal de minas gerais programa de pós-graduação em engenharia mecânica**, Belo Horizonte-Mg, p. 22-39, 2017.

OLIVEIRA, L.F *et al.* Uma revisão sobre a nitretação a plasma do aço rápido ASTM M2. **Research Gate**, Sapucaia do Sul- RS, ed. 6, p. 1-16, 2017.

PARCIANELLO, C.T. Estudo das propriedades mecânicas e tribológicas do aço modificado ABNT M2 através da otimização de tratamentos térmicos e criogênicos. **Universidade Federal do Pampa**, Alegrete - RS, p. 27-32, 2016.

POLICENA, M.R *et al.* Fatigue failure analysis of HSLA steel sheets holed by conventional and flow drilling processes. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, p. 1-6, 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0784>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S151770762019000300380&lang=pt. Acesso em: 4 nov. 2020.

REBOUÇAS JÚNIOR, D.G.X. Tratamento E Avaliação De Desempenho De Discos De Freios De Protótipo Baja Nitretados À Plasma. **UFERSA: pró-reitoria de pesquisa e pós graduação programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais**, Mossoró-RN, p. 6-62, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/5428>. Acesso em: 30 set. 2020.

SERRA, P.L.C *et al.* Caracterização De Brocas Comerciais De Aço Rápido - HSS. **Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia**, Belém-PA, ed. 74, p. 1-5, 2017. Disponível em: https://www.confea.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2017/mecanica/6_cdbcdar.pdf. Acesso em: 15 out. 2020.

SERRA, P.L.C *et al.* Estudo de nitretação a plasma e tratamento duplex em brocas de aço rápido. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 25, ed. 2, p. 1-15, 2020. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200002.1072>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rmat/v25n2/1517-7076-rmat-25-02-e12772.pdf>. Acesso em: 1 out. 2020.

SILVEIRA, F *et al.* Tratamento Térmico De Têmpera Em Aço ABNT 8640: Análise Das Propriedades Mecânicas. **Holos**, Brasil, ano 34, v. 2, p. 1-11, 2018. DOI 10.15628/holos.2018.5614. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Franco_Silveira/publication/326265034_Tratamento_Termico_de_Tempera_em_Aco_ABNT_8640_analise_das_Propriedades_Mecanicas/links/5b4309f7458515f71cb53e65/Tratamento-Termico-de-Tempera-em-Aco-ABNT-8640-analise-das-Propriedades-Mecanicas.pdf. Acesso em: 1 out. 2020.