

Nitretação por plasma para endurecimento superficial de aços ferramenta

Os moldes utilizados em processo de injeção passaram a sofrer um desgaste maior do que o previsto com o aumento do uso de plásticos de engenharia. Isso exigiu novas soluções para aumento da resistência, como a proposta neste artigo que sugere a nitretação por plasma pulsado para endurecer superficialmente o molde, com vantagens adicionais de controle microestrutural, estabilidade dimensional, acabamento superficial, reprodutibilidade, tratamento térmico simultâneo e ausência de efeitos poluentes.

C. E. Pinedo

A engenharia de superfície aumenta no mundo inteiro como um método alternativo para elevar a resistência ao desgaste de materiais convencionais, em busca de uma melhoria no desempenho de ferramentas. O processo de nitretação é muito empregado na modificação da superfície de ferramentas e o uso da nitretação por plasma surge como um método alternativo^[6,15,18,21,23].

A nitretação é um tratamento termoquímico que eleva a dureza da superfície e as resistências à fadiga, ao desgaste e à corrosão dos aços. As modificações ocorridas na superfície nitretada dependem do teor de nitrogênio incorporado e é uma função da temperatura, do tempo e das condições de processo. A superfície nitretada revestida é vista

no microscópio óptico como uma camada de compostos (comumente chamada de camada branca) na região mais externa da superfície, seguida pela zona de difusão^[10,22].

Os processos de nitretação tradicionalmente utilizados na indústria, classificados de acordo com o meio nitretante, são a nitretação gasosa com amônia e a nitretação em banho de sais. Entretanto, estes métodos são limitados com relação ao controle sobre a microestrutura da superfície nitretada, na manutenção da integridade superficial, e possuem restrições dos pontos de vista ambiental e da saúde humana.

Na nitretação por plasma pulsado é imposta uma diferença de potencial elétrico entre a parede do forno (anodo) e a peça

Tabela 1 – Composição química dos aços estudados (porcentagem em massa)

Aço	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Ni	Al	Cu	Ti	Co
AISI H13	0,40	1,00	----	5,00	1,20	1,00	----	----	----	----	----
AISI P20											
AISI 420	0,40	0,80	----	13,5	----	0,25	----	----	----	----	----
VP40	0,17	0,40	1,54	0,29	0,26	----	2,92	0,98	1,00	----	----
Maraging	0,01	0,06	----	0,02	5,00	----	18,0	0,06	----	0,70	8,90

Carlos Eduardo Pinedo é diretor técnico da empresa Heat Tech Tratamentos Térmicos e Engenharia de Superfície da cidade de Suzano (SP) e pesquisador da Universidade de Mogi das Cruzes (SP). Reprodução autorizada.

Fig. 1 – Reator de nitretação por plasma pulsado



(catodo) que, em condições controladas de temperatura, pressão e mistura gasosa ($N_2:H_2$), origina uma descarga luminescente, conhecida como plasma, que cobre completamente a superfície das peças. A elevada energia cinética com que os íons colidem com a superfície do aço é transformada em calor suficiente para promover a difusão do nitrogênio para o interior do aço^[15].

A maior vantagem da nitretação por plasma é a possibilidade de controlar a metalurgia da camada nitretada^[5]. Para um mesmo aço, este processo permite variar o tipo de nitreto formado na camada branca e até mesmo impedir a formação dessa camada.

Para isto, deve-se controlar precisamente a composição da mistura gasosa, a temperatura e o tempo de nitretação^[1]. O grau da profundidade de nitretação é determinado pelo controle da temperatura e do tempo de processo. É muito importante ter em mente que a composição química do substrato desempenha um papel importante sobre a metalurgia da superfície nitretada^[8].

Além das vantagens metalúrgicas e de processo oferecidas pela nitretação por plasma, é importante salientar que esta tecnologia encontra-se plenamente adequada às novas exigências ambientais requisitadas pela norma ISO 14000^[21].

Aços para moldes

Ao longo dos anos, diferentes tipos de aço ferramenta têm sido utilizados na fabricação de moldes para injeção de plásticos. A seleção destes materiais deve levar em consideração propriedades como usinabilidade, polibibilidade, capacidade de texturização, soldabilidade, resistência à corrosão e resistência ao desgaste.

A melhor combinação dessas propriedades é atingida por um rígido controle no processo de fabricação da matéria-prima e pelo uso

correto do processo de tratamento térmico. A correta seleção do aço em função do tipo de plástico a ser injetado é fundamental para garantir um desempenho otimizado. A seguir, serão apresentados os principais aços utilizados na fabricação de moldes e suas características mais importantes.

AISI P20

É o aço mais tradicional utilizado no segmento de injeção. Este material é fornecido pelos distribuidores no estado temperado e revenido, beneficiado e com dureza Rockwell C entre 27 e 32, a partir da qual são produzidos os moldes sem a necessidade de tratamentos térmicos posteriores.

AISI H13

Solução para a injeção de plásticos que exigem maior resistência ao desgaste dos moldes. Nestes casos, a utilização do aço ferramenta tipo AISI H13 possibilita o endurecimento após tratamento térmico para durezas Rockwell C de 45 a 52, o que fornece à ferramenta uma resistência ao desgaste superior à dos moldes convencionais de AISI P20. Processos otimizados de fabricação garantem elevada polibilidade ao aço H13^[16].

AISI 420

Em certos casos, entretanto, a natureza do polímero exige o uso de aços resistentes à corrosão e ao desgaste. Nesta situação, o aço mais utilizado é o inoxidável martensítico AISI 420. Este material é fornecido no estado recozido e, após a confecção do molde, é realizado o tratamento térmico de beneficiamento para uma dureza Rockwell C entre 50 e 52. Aqui, a correta especificação do tratamento térmico é fundamental para garantir uma ótima resistência à corrosão deste metal^[2]. Aços como o AISI 440 também podem ser utilizados quando a abrasividade do polímero é muito elevada (por exemplo, na injeção de baquelite).

Maraging e VP50

Os aços endurecíveis por precipitação por tratamento térmico de envelhecimento têm

Tabela 2 – Tratamentos térmicos utilizados nos materiais e dureza de partida

	Tratamento térmico	Dureza Rockwell C
AISI P20	Têmpera e revenimento	27,5
AISI H13	Têmpera e revenimento	47,5
AISI 420	Têmpera e revenimento	49,0
Maraging	Envelhecimento	55,0
VP40	Envelhecimento	40,3

sido uma solução utilizada de forma crescente quando a combinação entre elevada dureza e estabilidade dimensional é fundamental. O Maraging 18%Ni é o mais antigo desta família, atingindo dureza Rockwell C 59 após envelhecimento. Entretanto, este aço apresenta um elevado custo de matéria-prima, o que impede a sua ampla difusão neste segmento. Em 1995^[17], o mercado nacional apresentou uma nova solução para a indústria de moldes, com o desenvolvimento do aço VP40, atual VP50 (marca registrada da Villares Metals). Este material, fornecido no estado solubilizado com dureza Rockwell C 30 e excelente usinabilidade, é envelhecido posteriormente para ficar entre 40 e 42 HRC, na mesma escala, sem os problemas de variação de forma e dimensão presentes nos aços endurecíveis por beneficiamento. Os processos convencionais de nitretação em sal e gasosa não se aplicam para os aços Maraging e VP50, já que a temperatura destes processos é superior à temperatura de envelhecimento, causando uma queda de dureza do substrato. Neste caso, o processo por plasma é o único método disponível para a nitretação confiável em tempos suficientemente curtos.

Materiais e métodos experimentais

Para este estudo, foram selecionados os aços ferramenta mais utilizados no Brasil na confecção de moldes para a injeção dos mais variados plásticos. Os materiais estudados foram AISI H13, AISI P20, AISI 420, VP40 e Maraging 250. A composição química destes materiais está na tabela 1 (pág. 122).

O reator de nitretação por plasma utilizado neste trabalho (figura 1, pág. 124) possui

Tabela 3 – Propriedades após a nitretação por plasma

	P20	H13 CB	H13	420	Maraging	VP40
HRC _{SA}	27,5	47,5	47,5	49,0	55,0	40,3
HRC _{NT}	26,5	47,1	46,5	46,5	56,5	40,1
HV _{MÁX}	824	1.097	1.018	1.350	858	836
HCR _{MÁX}	65	70	69	72	65	65
CCE	----	8,0	----	----	3,5	6,5
NHT	0,23	0,26	0,13	0,10	0,12	0,16

HRC_{SA} = Dureza do substrato antes da nitretação (Rockwell C)
HRC_{NT} = Dureza do substrato após a nitretação (Rockwell C)
HV_{MÁX} = Dureza máxima a 0.02 mm de profundidade (Vickers 0,1)
HCR_{MÁX} = Valor convertido (Rockwell C)
CCE = Espessura da camada de compostos (microns)
NHT = Profundidade da camada nitretada (mm)

dimensões internas de 450 mm de diâmetro por 850 mm de altura e pode tratar peças com peso de até 500 kg. O processo é conduzido a vácuo e utiliza como gases o nitrogênio (99,999%), hidrogênio (99,999%), metano e argônio (99,995% para ambos).

As principais características desse reator são uma fonte de tensão pulsada (como solução para problemas de abertura de arco e redução do efeito de catodo oco^[7]) e uma câmara aquecida com três zonas de aquecimento. O uso da parede quente é uma opção importante para reduzir a intensidade de plasma necessária ao processo e assegurar o melhor perfil térmico no interior do forno^[4].

Os parâmetros utilizados nos diferentes tratamentos de nitretação levaram em consideração a composição química de cada aço estudado e a microestrutura da superfície nitretada. Em termos gerais, a nitretação conduzida com um elevado potencial de nitrogênio e uma elevada temperatura permite a formação da camada branca. Por outro lado, a combinação de um baixo potencial de nitrogênio (menor do que 10% do volume) e uma baixa temperatura de nitretação (menor do que 550°C) permite inibir a formação da camada branca.

Todos os materiais foram tratados termicamente antes da nitretação para a dureza de trabalho. Os tratamentos térmicos realizados foram têmpera seguida de revenimento e envelhecimento. Após os tratamentos superficiais de nitretação, as amostras foram preparadas metalograficamente na seção perpendicular à superfície nitretada. A microestrutura foi avaliada por microscopia óptica. O perfil de dureza da superfície nitretada foi determinado por medidas de microdureza Vickers, utilizando carga de 100 g.

Após a avaliação dos perfis, foi determinada a profundidade de endurecimento utilizando o critério NHT (que avalia a profundidade da camada nitretada), especificado

pela norma DIN 50190^[3]. A dureza do substrato antes e após a nitretação foi avaliada pela escala Rockwell C.

Resultados e discussão

O tratamento térmico a vácuo utilizado e a dureza de cada aço antes do tratamento termoquímico de nitretação são apresentados na tabela 2 (pág. 127). Estes tratamentos foram selecionados de acordo com as características de endurecimento de cada liga e utilizaram os ciclos especificados.

As microestruturas das superfícies nitretadas em cada aço são apresentadas na figura 2 (pág. 130). Para o aço AISI H13, observa-se que existe a possibilidade de programar parâmetros de nitretação que controlam a microestrutura na superfície, de modo a formar ou não a camada branca. A camada branca se forma quando a nitretação é reali-

zada com uma mistura gasosa rica em nitrogênio a uma temperatura elevada.

Ao contrário, quando o potencial de nitrogênio utilizado é substancialmente menor e há também diminuição da temperatura, suprime-se a formação da camada branca^[9,19]. O uso de uma temperatura mais alta no tratamento leva a uma maior profundidade de nitretação do que a observada no ciclo em que a temperatura de nitretação é inferior^[9].

Os aços AISI P20 e AISI 420 foram nitretados em condições que limitam a formação da camada branca e apresentam apenas a zona de difusão. Para os aços Maraging e VP40 também se observa a formação da camada branca. No caso do Maraging, o elevado teor de elementos de liga impede a eliminação da camada branca; no VP40, a nitretação objetivou a formação da camada branca.

O uso ou não de uma superfície nitretada com camada branca depende de uma análise criteriosa dos parâmetros de injeção que de-

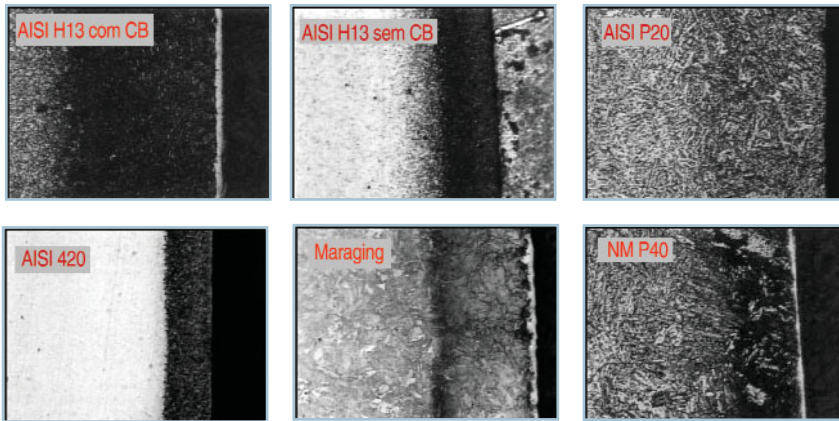


Fig. 2 – Microestruturas após a nitretação por plasma (Nital 4%)

formador de nitreto que, com isto, eleva o potencial de endurecimento do aço^[20].

Um aspecto importante na nitretação do aço Maraging é a possibilidade de nitretação sob baixa temperatura e com uma cinética aceitável, oferecida pelo processo de plasma. A temperatura selecionada (475°C) é fundamental para garantir que não ocorra

uma diminuição de dureza do substrato pelo efeito de reversão da austenita retida. A dureza Vickers máxima encontrada foi 860.

A formação da camada branca é consequência do elevado tempo de nitretação e da composição química do aço. Matrizes nitretadas para a fundição sob pressão de alumínio neste ciclo obtiveram um aumento da vida útil superior a 10 vezes, quando comparadas ao mesmo material sem nitretação^[14]. Neste caso, o aumento de vida é particularmente interessante em decorrência do elevado custo da matéria-prima.

Em relação ao VP40, tem-se a mesma preocupação com o substrato que a observada no caso do Maraging. Verifica-se que a dureza do substrato é preservada contra efeitos de superenvelhecimento na nitretação a 500°C. A dureza máxima obtida possui um valor elevado devido à presença do alumínio. Neste aço, é possível ainda realizar um tratamento duplo de envelhecimento e nitretação em um único ciclo^[11,12,13,14].

Considerações finais

O tratamento de nitretação por plasma mostrou-se eficiente na modificação superficial, promovendo um endurecimento de todos os tipos de aço ferramenta testados neste trabalho (AISI H13, AISI P20, AISI 420, Maraging e VP40). Este endurecimento colabora de forma determinante para a melhoria do desempenho do molde por um aumento da resistência ao desgaste. Nos casos de presença da camada branca, tam-

vem incluir, principalmente, o tipo de aço, a geometria e as dimensões do molde, o polímero a ser injetado, o grau de acabamento da peça injetada e a agressividade ambiental quanto à corrosão.

As propriedades obtidas após os tratamentos termoquímicos de nitretação por plasma estão resumidas na tabela 3 (pág. 128) e os perfis de dureza através da superfície nitretada obtidos para cada material, em seu ciclo particular, são apresentados na figura 3 (pág. 132). Verifica-se um aumento sensível da dureza superficial após a nitretação (durezas máximas em escalas Vickers e Rockwell C).

Particularmente para o aço inoxidável AISI 420, um dos fatores de processo mais importantes na nitretação por plasma é a possibilidade de remoção da camada passivada pelo uso de um bombardeamento iônico – sob hidrogênio – nas etapas que precedem a nitretação. No caso dos tratamentos convencionais, a remoção da camada passiva deve ser realizada de forma mecânica ou química antes da nitretação, o que se transforma em uma dificuldade nos aspectos técnico e de custo^[19].

É importante salientar que a remoção incompleta da camada passiva leva a uma nitretação inadequada da peça. Verifica-se que, nas condições utilizadas, não ocorre a formação da camada de compostos e que a zona de difusão apresenta-se isenta de nítretos em contornos de grão. O elevado potencial de endurecimento deste aço é consequência do seu teor de cromo, um forte

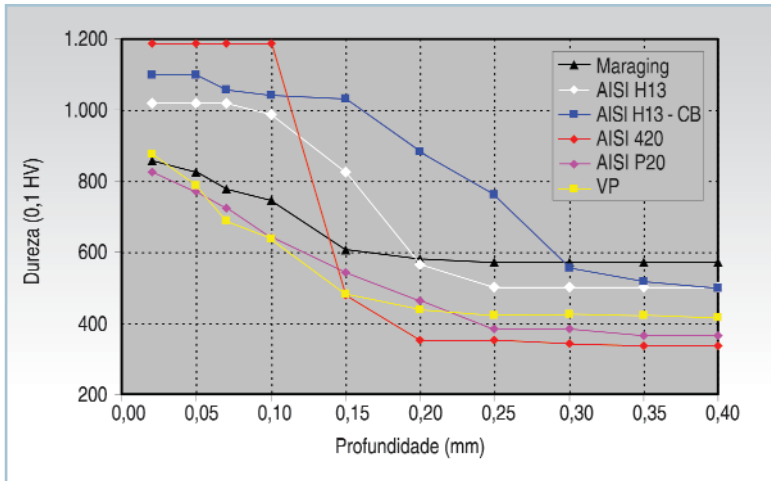


Fig. 3 – Perfis de microdureza Vickers 0,1

bém se espera uma melhoria das propriedades de corrosão.

A modificação dos parâmetros de nitretação, principalmente da composição gasosa na nitretação por plasma, permite um controle sobre a metalurgia da superfície nitretada, particularmente mostrado para o aço AISI H13. Para um potencial elevado de nitrogênio ocorre a formação da camada branca e, para potenciais baixos de nitrogênio, a superfície apresenta apenas a zona de difusão.

A possibilidade de bombardeamento iônico prévio à nitretação é eficiente para

depassivar o aço inoxidável AISI 420, para permitir a sua nitretação de forma eficiente. Nos processos convencionais de nitretação, este tipo de aço deve sofrer uma depassivação química ou mecânica que deteriora a qualidade superficial do molde. O uso de temperaturas de nitretação abaixo das normalmente exigidas nos processos convencionais (que podem chegar a 350°C) permite a nitretação segura de aços endurecíveis por precipitação, como o Maraging e o VP40, endurecendo a superfície sem alteração de dureza do substrato.

A nitretação por plasma pulsado é um processo de ampla aplicação na indústria de confecção de moldes para injeção de plásticos. Este processo tem como vantagem principal o controle preciso da microestrutura da superfície nitretada, que pode ser projetada, em particular, para cada situação de injeção. Vantagens adicionais, como a manutenção do acabamento superficial das cavidades e deformação mínima ou ausente, permitem a nitretação segura de moldes que já passaram por testes em escala de produção (*try-out*). A possibilidade de nitretação seletiva e, acima de tudo, reprodutibilidade de qualidade, fazem deste tratamento superficial uma op-

ção moderna e viável para a indústria de transformação de plásticos.

Bibliografia

- 1] Bell, T. et al: – Advanced Metals & Materials. V. 152, nº 8, p. 40Y-40BB, 1996.
- 2] Candelária, A. F.; Pinedo, C. E.: – Journal of Material Science Letters. 22 (16), p. 1151-1153, 2003.
- 3] DIN 50190: – Häteteife Wärmebehandelter Teile – Ermittlung der Nitriehätetiefe. Teil 3, março, 1979.
- 4] Dressler, S.: – Ion nitriding and ion carburizing. Ed. ASM International, Anais de congresso, p. 183-193, Cincinnati, Ohio, EUA, 18 a 20 de setembro, 1989.
- 5] Edenhofer, B.: – Heat treatment of metals, v. 1, parte 1, p. 23-28, 1974.
- 6] Haberling, E.; Rasche, K.: – New materials, processes, experiences for tooling. Interlaken, Suíça, Anais do congresso, p. 369-392, 7 a 9 de setembro, 1992.
- 7] Huchel, U.; Dressler, S.: – Heat treatment conference. Anais do congresso, Ed. ASM International, Chicago-Illinois, abril, 1994.
- 8] Jones, C. K. et al: – Heat treatment'73. Anais de congresso, Ed. The Metals Society, p. 71-77, Londres, 12 e 13 de dezembro, 1973.
- 9] Lightfoot, J.; Jack, D. H.: – Heat Treatment'73. Anais de congresso, Ed. The Metals Society, p. 59-65, Londres, 12 e 13 de dezembro, 1973.
- 10] Metals Handbook: – Metallography, structures and phase diagrams. 8ª edição, v. 08, p. 303 e 360, 1969.
- 11] Oliveira, S. D.: – Dissertação de Mestrado, p. 147, 1999.
- 12] Oliveira, S. D.; Pinedo, C. E.; Tschiptschin, A. P.; Pannoni, F. D.: – Anais do 54º Congresso Anual da ABM. São Paulo, SP, 23 a 25 de julho, 1999.
- 13] Oliveira, S. D.; Pinedo, C. E.; Tschiptschin, A. P.: – Metal-Mecânica. Ano 7, nº 42, p. 78-80, junho/julho, 2002.
- 14] Pinedo, C. E. et al: – Anais do 2º Congresso Internacional de Tecnologia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, SP, 1997.
- 15] Pinedo, C. E.: – Anais do I Seminário Internacional de Engenharia de Superfície. Ed. Núcleo de Pesquisas Tecnológicas da UMC, p. 13-26, 1995.
- 16] Pinedo, C. E.; Barbosa, C. A.: – Anais do 49º Congresso Anual da ABM. v. 7, p. 517-530, São Paulo, SP, 1994.
- 17] Pinedo, C. E.; Barbosa, C. A.: – Anais do 50º Congresso Anual da ABM. p. 29-38, São Pedro, SP, 1995.
- 18] Pinedo, C. E. et al: – Anais do 51º Congresso Anual da ABM. Porto Alegre, RS, 1996.
- 19] Pinedo, C. E.; Huchel, U.: – Anais do XV Seminário Nacional de Forjamento. Porto Alegre, RS, 1995.
- 20] Pinedo, C. E.; Monteiro, W. A.: – Journal of Materials Science Letters. V. 20, nº 2, p. 147-149, 2001.
- 21] Strämke, S.; Dressler, S.: – Industrial heating. P. 18-20, setembro, 1985.
- 22] Thelning, K. E.: – Steel and its heat treatment. 2ª ed., Ed. Butterworth, 1985.
- 23] Wendel, F.: – Thyssen Edelst. Techn. Ber., Edição Especial, p. 82-99, maio, 1990.