

# ANÁLISE DA RUGOSIDADE E MICROESTRUTURA DE CAMADAS NITRETADAS OBTIDAS PELOS PROCESSOS LÍQUIDO, GASOSO E IÔNICO EM AÇO AISI H13.

*Piter Alves Sousa<sup>1</sup>*

## **Resumo**

Os principais mecanismos de desgaste presentes em componentes aplicados à injeção de ligas não ferrosas estão relacionados a fenômenos de superfície, como fadiga térmica, erosão e aderência da liga fundida. Uma forma viável e eficaz para prevenir tais fenômenos é a realização de tratamentos de superfície, sendo a nitretação uma alternativa interessante por produzir mínimas distorções e elevada dureza superficial, a um custo relativamente baixo. Este artigo realiza uma análise comparativa entre a rugosidade e microestrutura obtidas pelos processos de nitretação líquida, gasosa e iônica, realizadas em corpos de prova do aço AISI H13, comumente direcionado à fabricação de componentes para injeção de alumínio.

A rugosidade encontrada nos corpos de prova nitretados pelo processo líquido apresentou valores consideravelmente superiores aos realizados pelos processos gasoso e iônico, sendo a camada nitretada composta por grande quantidade de nitretos precipitados distribuídos em rede, com vestígios de camada branca. A nitretação gasosa apresentou o melhor controle da rugosidade, com a microestrutura da camada nitretada homogênea, isenta de nitretos precipitados e completamente difundida, semelhante à camada encontrada nos corpos de prova nitretados pelo processo iônico.

Por estas razões, considera-se a nitretação gasosa viável para aplicações em peças com alta exigência de controle da rugosidade, onde os resultados obtidos demonstraram que a camada obtida atende às exigências necessárias para um ótimo desempenho em componentes destinados a injeção de ligas não ferrosas.

Palavras-chave: Rugosidade, nitretação, injeção de alumínio.

(1) Assistência técnica em tratamento térmico e aplicação. Bodycote Brasimet Processamento térmico S/A - Joinville.

## 1 INTRODUÇÃO

Em complemento ao tratamento térmico, os tratamentos superficiais são aplicados em casos onde exista a necessidade de elevada resistência ao desgaste, alcançada com o aumento de dureza na superfície, aliada a tenacidade do núcleo, para evitar quebras em função das condições de aplicação do componente.

A nitretação é classificada como um tratamento termoquímico que envolve a difusão de nitrogênio para a superfície do aço em temperaturas relativamente baixas, normalmente inferiores a 580°C. O fato da faixa de temperatura de tratamento não possibilitar a austenitização do aço e conseqüentemente a mudança de microestrutura, resulta em distorções mínimas e redução à tendência do surgimento de trincas. Para aplicações em aços empregados em injeção de ligas não ferrosas, a nitretação objetiva o aumento da resistência do componente aos mecanismos de desgaste, como erosão, aderência da liga fundida e fadiga térmica, resultante das variações de temperatura durante os ciclos de injeção.

A nitretação líquida é realizada com a utilização de sais fundidos à base de cianato e cianeto de sódio e potássio, o que resulta na difusão predominante de nitrogênio, porém, também havendo a difusão de carbono, em menor quantidade em função da temperatura do processo. O tratamento realizado em banho de sal fundido resulta em uma camada maior, com elevada porosidade quando comparada aos processos a gás e iônico.

No processo a gás, a atmosfera responsável pela difusão de nitrogênio é composta por amônia, a qual se dissocia com o aumento da temperatura para faixas superiores a 500°C. O processo pode ser realizado em um estágio único ou em estágio duplo, onde o estágio único resulta na formação de uma camada branca com a dissociação de amônia em taxas entre 15% e 30%. O estágio duplo acrescenta apenas uma etapa para redução ou eliminação desta camada, com a elevação de temperatura e da taxa de dissociação, para valores entre 65% e 85%. Os componentes direcionados à injeção de ligas não ferrosas devem apresentar camada nitretada completamente difundida, pois vestígios de camada branca e nitretos precipitados em rede resultam em fragilidade e aceleram mecanismos como trincas oriundas de fadiga térmica.

A nitretação iônica, ou a plasma é realizada em vácuo, onde há a aplicação de um campo elétrico e os íons de nitrogênio são acelerados em direção a peça. Este bombardeamento de íons, denominado Sputtering, resulta em aquecimento, fornecimento de nitrogênio ativo a ser absorvido pela peça, além de atuar como uma etapa de limpeza. O controle existente no processo permite uniformidade da camada nitretada e a determinação da sua composição química, sendo possível definir parâmetros de processo para evitar a presença de camada branca na estrutura da zona nitretada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a rugosidade de corpos de prova em aço AISI H13 expostos aos processos de nitretação líquida, gasosa e iônica, avaliando também a estrutura da camada nitretada para observar divergências entre os três processos, como a precipitação de nitretos em rede e vestígios de camada branca. Estes fatores são prejudiciais ao desempenho de componentes aplicados à injeção de ligas não ferrosas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Neste estudo, foram utilizados corpos de prova confeccionados em aço AISI H13, fornecidos em barras de 22 milímetros de diâmetro. O tratamento térmico

aplicado foi o de têmpera em forno a vácuo, seguido de três etapas de revenimento para ajuste de dureza entre 44 e 46 HRC. Para o tratamento térmico, empregou-se como temperatura de austenitização 1030°C, com as etapas de revenimento a 615°C, durante 120 minutos. A austenitização foi realizada durante 30 minutos, sendo o resfriamento realizado com injeção de nitrogênio a 3,5 bar de pressão, o que resulta em um resfriamento com velocidade suficiente para evitar precipitação de carbonetos em contorno de grão, extremamente prejudicial para a estrutura do material.

A preparação da face para avaliação da rugosidade após os processos de nitretação líquida, gasosa e iônica foi realizada segundo um ciclo padrão, para que todos os corpos de prova apresentassem a mesma rugosidade inicial, sendo utilizadas na seqüência de lixamento, lixas de grana 220, 400, 600 e 1200.

A nitretação líquida foi realizada a 570°C, com patamar de 2 horas em temperatura, seguido de resfriamento em banho de sal fundido a 380°C por 20 minutos, com posterior resfriamento em água em temperatura de 40°C. A velocidade de resfriamento após o ciclo de nitretação é importante para garantir que o nitrogênio fique em solução sólida. A nitretação iônica empregou temperatura de 380°C em sputtering, para limpeza da superfície contra micro impurezas e resíduos, sendo a faixa de temperatura para nitretação de 540°C durante 9 horas. O processo gasoso foi realizado a 520°C, durante 3 horas, sendo a vazão de amônia e nitrogênio de 9 m<sup>3</sup>/h. No segundo estágio do processo, elevou-se a vazão de nitrogênio para 18 m<sup>3</sup>/h, mantendo como tempo em patamar 3 horas.

Todos os processos foram realizados para eliminação da camada branca, prejudicial para o desempenho dos componentes aplicados à injeção de ligas não ferrosas.

As análises efetuadas nos corpos de prova envolveram, além da análise de rugosidade, análises metalográficas para caracterização da microestrutura das camadas nitretadas e perfil de dureza NHT, partindo da dureza superficial encontrada, até a profundidade de 0,10 milímetros. A avaliação da rugosidade foi efetuada em um rugosímetro Mitutoyo SJ-301, nos sentidos longitudinal e transversal ao de preparação da face, sendo os resultados apresentados referentes à média de 10 análises. Consideraram-se a rugosidade média (Ra) e a máxima (Rz) como parâmetros de comparação.

O perfil de dureza foi realizado em um micro-durômetro Akashi MVK, com carga de 50 gf, sendo os resultados apresentados referentes a média de 5 ensaios, realizados a partir da face preparada para avaliação da rugosidade. As análises das camadas nitretadas foram realizadas por microscopia óptica convencional, em um microscópio Union – Versamet, objetivando-se a avaliação da microestrutura, identificando possíveis divergências entre os processos líquido, iônico e gasoso, como precipitação de nitretos na camada difundida e resíduos de camada branca.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores de dureza encontrados nos corpos de prova após o tratamento térmico de têmpera em forno a vácuo e triplo revenimento seguem apresentados na tabela 1. A faixa de dureza especificada foi definida por ser a tipicamente empregada em componentes direcionados à injeção de ligas não ferrosas.

Amostra	Dureza encontrada
I	45 a 46 HRC
II	45 a 46 HRC
III	45 a 46 HRC
IV	46 HRC
V	46 HRC
VI	45 a 46 HRC

Tabela 1. Dureza dos corpos de prova após tratamento térmico.

Os corpos de prova I e II foram direcionados para a nitretação iônica, III e IV para nitretação líquida e V e VI para a nitretação gasosa. A análise metalográfica das camadas nitretadas seguem apresentadas nas figuras 1, 2 e 3, que correspondem respectivamente às nitretações líquida, gasosa e iônica.

A microestrutura da camada nitretada obtida pelo processo em banho de sal apresentou grande quantidade de nitretos precipitados, com vestígios de camada branca. Para difusão dos resíduos de camada branca e dos nitretos precipitados, seria necessária a manutenção dos corpos de prova em temperatura de processo, o que resultaria também em um aumento da profundidade da zona nitretada. Camadas nitretadas espessas resultam em maior fragilidade, podendo ser prejudiciais para componentes que apresentem geometrias complexas, pequenas seções e cantos vivos. Entretanto, a presença de resíduos de camada branca e a grande quantidade de nitretos em componentes direcionados à injeção de ligas não ferrosas age de forma negativa sobre as suas propriedades, reduzindo consideravelmente sua vida útil, através da aceleração dos mecanismos de formação de trincas térmicas.

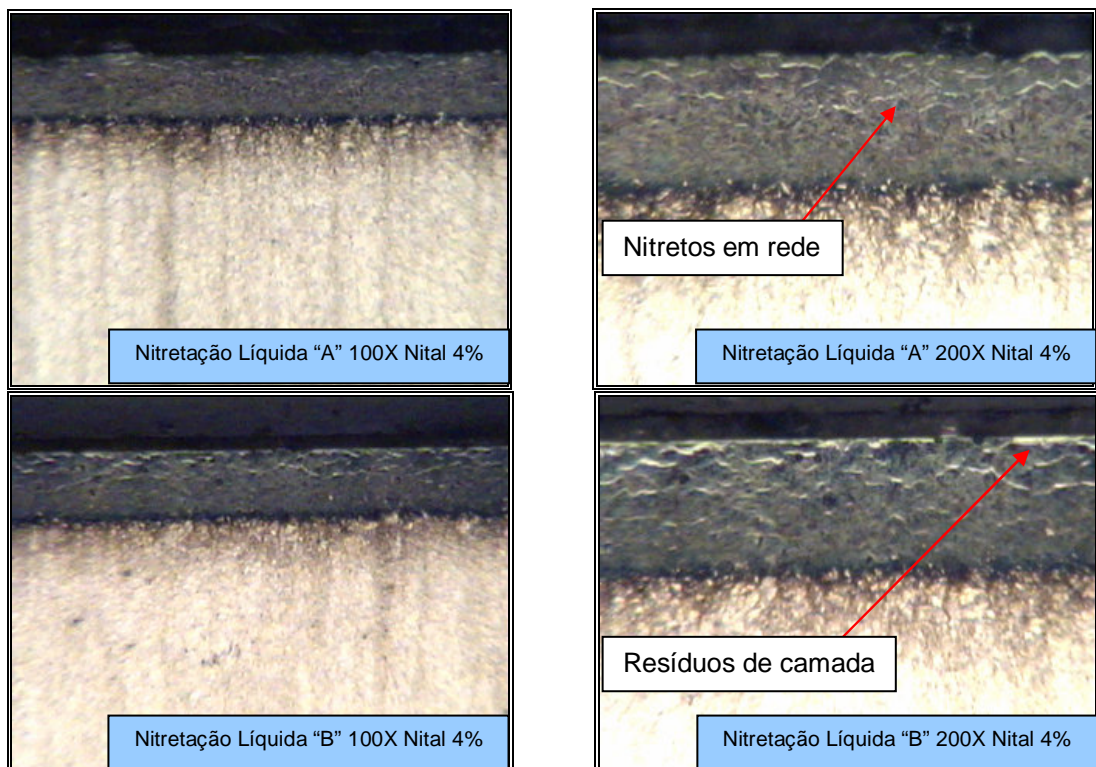


Figura 1. Camada nitretada obtida pela nitretação líquida.

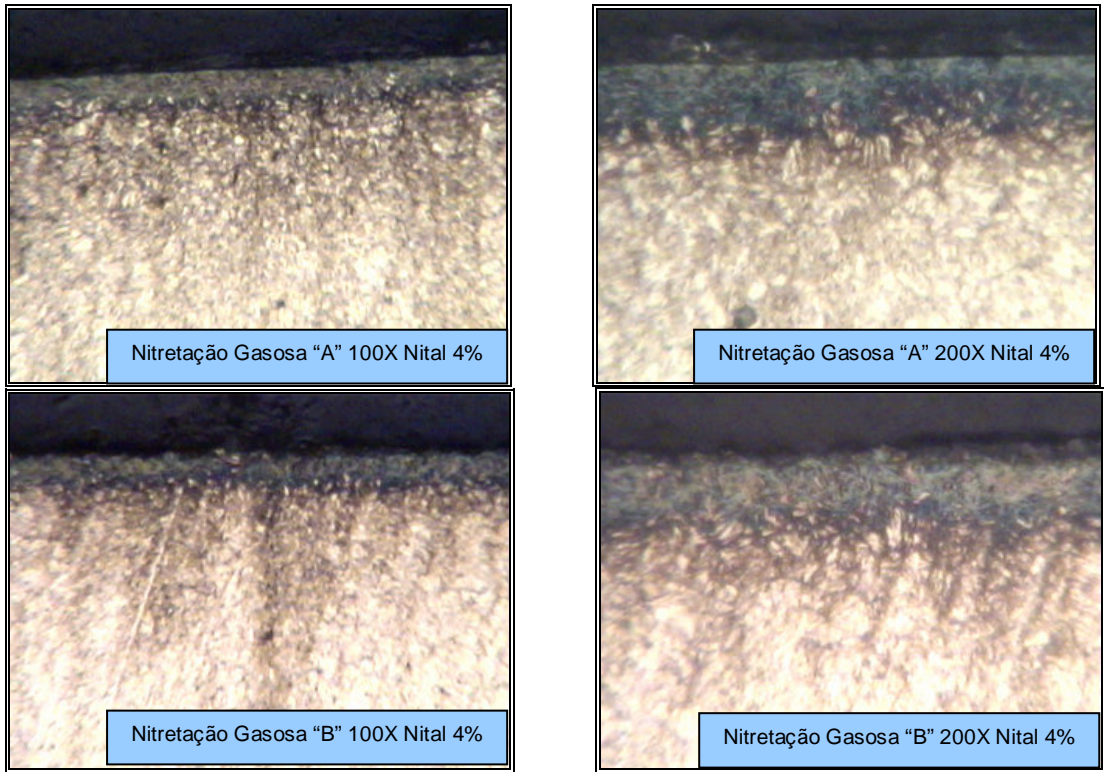


Figura 2. Camada nitretada obtida pela nitretação gasosa.

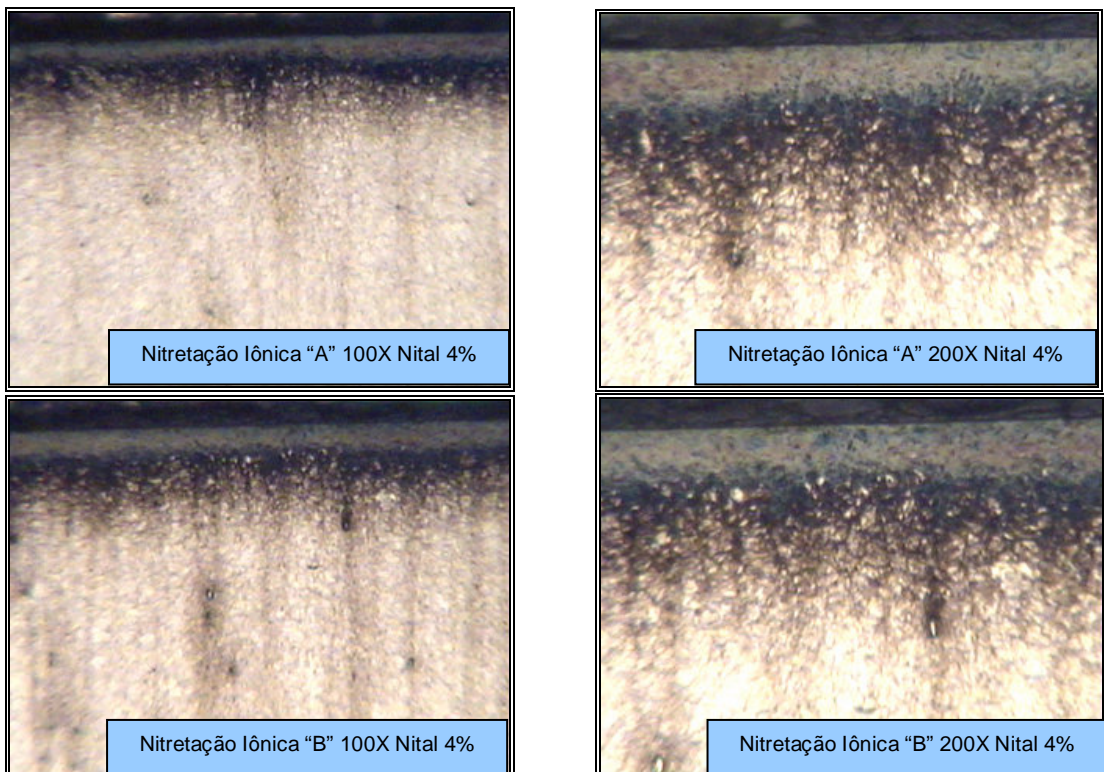


Figura 3. Camada nitretada obtida pela nitretação iônica.

As nitretações gasosa e iônica apresentaram camada isenta de nitretos precipitados, com camada completamente difundida. A análise realizada por microscopia óptica revelou espessuras semelhantes para os processos realizados a gás e a plasma, consideravelmente menores do que a obtida com nitretação líquida.

Os valores de dureza superficial das camadas nitretadas são apresentados na tabela 2. A nitretação líquida apresentou valores superiores de dureza, em função da grande quantidade de nitretos precipitados na camada e dos resíduos de camada branca. Estes valores elevados, entretanto, não podem ser considerados como adequados para elevar a resistência ao desgaste do componente, principalmente em peças aplicadas à injeção de ligas não ferrosas, onde a camada branca, conforme mencionado anteriormente, afeta a resistência à fadiga térmica. Os valores de dureza superficial dos processos de nitretação gasosa e iônica apresentaram-se próximos, em função da homogeneidade da camada nitretada, sendo que a nitretação iônica apresentou valores pouco superiores possivelmente em função da maior oferta de nitrogênio durante o processo.

Amostra	Dureza Encontrada (HV0,2)
Nitretação Iônica "A" (I)	1076 ± 21
Nitretação Iônica "B" (II)	1099 ± 44
Nitretação Líquida "A" (III)	1120 ± 23
Nitretação Líquida "B" (IV)	1107 ± 36
Nitretação Gasosa "A" (V)	1022 ± 16
Nitretação Gasosa "B" (VI)	1017 ± 22

Tabela 2. Dureza superficial das camadas nitretadas.

As curvas para determinação da camada nitretada por NHT seguem apresentadas na figura 4, onde a profundidade é definida pela soma de 50 Vickers à dureza encontrada no núcleo. O processo executado em banho de sal apresentou os maiores valores de dureza ao longo da camada nitretada, associados à grande quantidade de nitretos precipitados em rede. A camada obtida pela nitretação gasosa apresentou queda significativa de dureza a partir de 20 microns de profundidade, conferindo aos corpos de prova uma profundidade de camada nitretada de 40 microns. A nitretação iônica apresentou um comportamento consideravelmente linear, com queda gradativa de dureza até profundidades entre 50 e 60 microns.

Pelo fato dos corpos de prova nitretados a gás e a plasma apresentarem camadas com espessuras próximas, associa-se a maior linearidade da nitretação iônica à grande oferta de nitrogênio e do maior controle do processo, o que resulta em maior quantidade de nitrogênio em solução sólida e conseqüentemente em uma queda gradativa de dureza menos acentuada.

Profundidade:	S	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	N
Nitretação Iônica "A"	1076	902	709	677	648	507	488	470	453	437	446	434
Nitretação Iônica "B"	1099	916	763	648	595	571	549	470	458	432	448	453
Nitretação Líquida "A"	1120	981	922	857	816	778	709	507	463	451	453	437
Nitretação Líquida "B"	1107	972	912	864	793	677	549	492	470	453	439	444
Nitretação Gasosa "A"	1022	815	762	595	549	488	442	437	446	442	437	442
Nitretação Gasosa "B"	1017	822	722	522	501	446	437	442	437	442	437	437

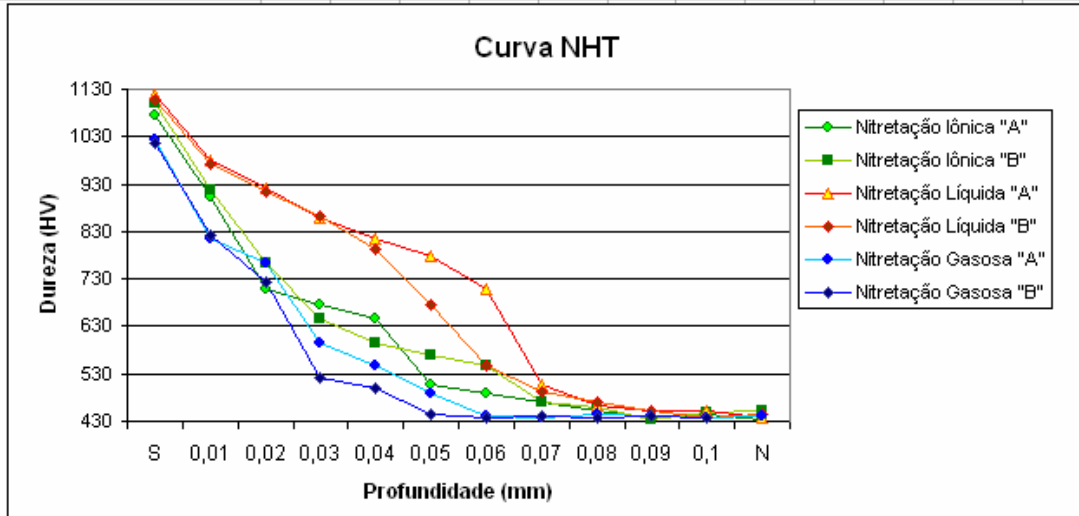


Figura 4. Curva NHT dos corpos de prova nitretados.

As figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam os resultados encontrados nas avaliações de rugosidade dos corpos de prova. As avaliações de rugosidade média ( $R_a$ ) e rugosidade máxima ( $R_z$ ) apontaram as menores diferenças para o processo de nitretação gasosa.

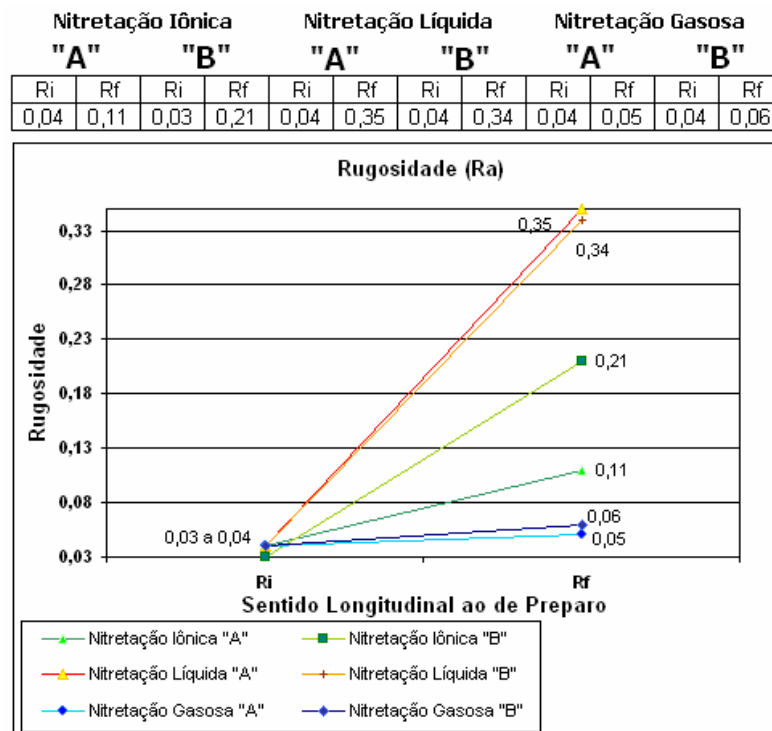


Figura 5. Rugosidade  $R_a$  das amostras nitretadas – sentido longitudinal.

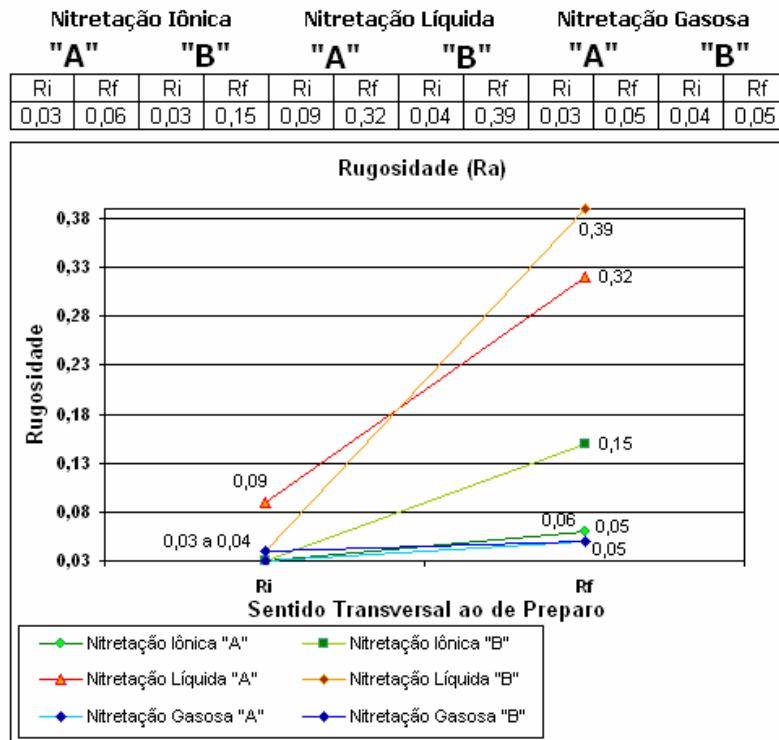


Figura 6. Rugosidade Ra das amostras nitretadas – sentido transversal.

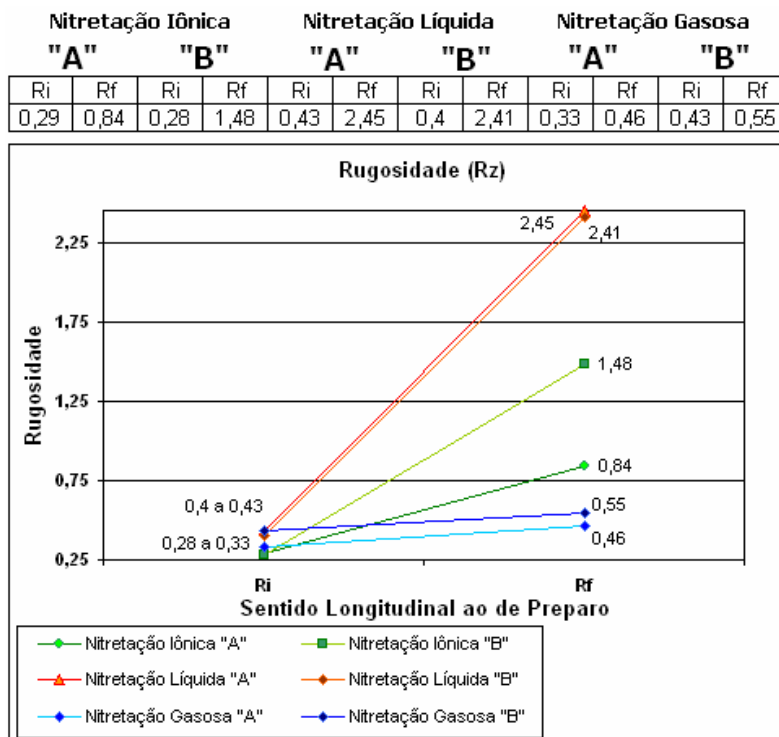


Figura 7. Rugosidade Rz das amostras nitretadas – sentido longitudinal.

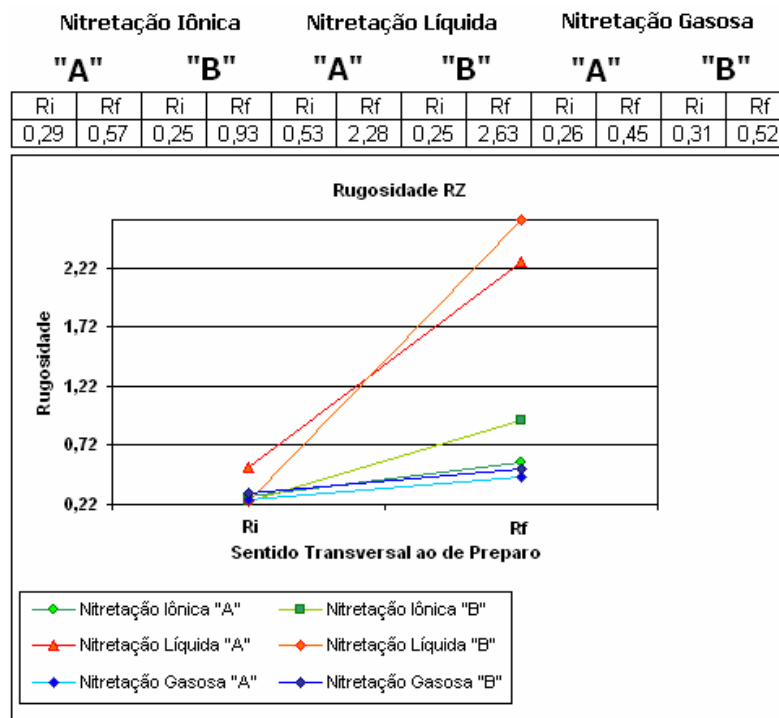


Figura 8. Rugosidade Rz das amostras nitretadas – sentido transversal.

A nitretação líquida apresentou as maiores diferenças de rugosidade após tratamento, consequência do processo realizado em banho de sal, que resulta em uma camada com maior porosidade e com menor uniformidade. A nitretação iônica apresentou rugosidade intermediária aos processos a gás e em banho de sal.

#### 4 CONCLUSÕES

A camada nitretada obtida pela nitretação líquida se apresentou inadequada para componentes direcionados à injeção de ligas não ferrosas, onde a grande quantidade de nitretos precipitados em rede e vestígios de camada branca afetam negativamente as suas propriedades, resultando em fragilidade e aceleração dos mecanismos de surgimento de trincas oriundas do processo de fadiga térmica. Além disso, a elevada rugosidade constatada após o processo, afeta negativamente pontos importantes a serem considerados para ferramentais de injeção de ligas não ferrosas, como acabamento superficial e principalmente os valores de coeficiente de atrito, resultando em redução da vida útil.

Os corpos de prova nitretados a gás apresentaram o melhor controle de rugosidade média e rugosidade máxima, demonstrando que é viável a realização da nitretação gasosa em peças direcionadas à injeção de ligas não ferrosas, onde a rugosidade seja um fator importante a ser considerado. A camada nitretada apresentou-se homogênea e isenta de nitretos precipitados na zona difundida.

É importante salientar que o controle realizado na nitretação iônica é consideravelmente superior aos demais processos, proporcionando também uma menor distorção durante o tratamento e a possibilidade de proteção de regiões para evitar a camada nitretada. O processo gasoso também permite o isolamento de regiões em que a nitretação deva ser evitada, através da aplicação de uma pasta protetora, que evita a difusão de nitrogênio durante a nitretação.

Entretanto, conclui-se que as propriedades da camada nitretada obtida pelo processo gasoso, segundo o ciclo desenvolvido, o torna apto para aplicações com elevada exigência de rugosidade baixa. A espessura da camada nitretada constatada segundo as medições NHT atende às necessidades para peças com geometrias complexas, pequenas espessuras e em casos onde a eliminação de cantos vivos não seja viável por implicarem em alterações de projeto.

## **5 REFERÊNCIAS**

ASM Handbook: Volume 4 – Heat Treating. ASM International, 1991.

ROBERTS, G. A.; HAMAKER, J. C.; JOHNSON, A.R.: Tool Steels. 3 ed. ASM International, 1962.

SILVA, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto: Aços e ligas especiais. Edgard Blücher, 2006.

TOTTEN, George E.; HOWES, Maurice A. H.: Steel heat treating handbook. Marcel Dekker, 1997.

YOSHIDA, Shun: Recomendações para seleção de aços, tratamentos térmicos e tratamentos de superfície de ferramentas para injeção de alumínio. São Paulo: Brasimet Comércio e Indústria S/A, 2004.