

TRATAMENTO SUPERFICIAL BALINIT® LUMENA E ALCRONA DUPLEX DE AÇOS FERRAMENTA H13 PARA CAVIDADES E POSTIÇOS DE INJEÇÃO DE ALUMÍNIO¹

Rodrigo Lupinacci Villanova²
Leoneros Acosta Barbosa³

Resumo

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento de cavidades e postiços para injeção de alumínio produzidos em aços do tipo AISI H13 com tratamento superficial do tipo Duplex. Este tratamento consiste na nitretação a baixa pressão e no revestimento PVD (Physical Vapor Deposition). Foram avaliados dois tipos de revestimento: Balinit® Lumena (para cavidades e postiços) e Balinit® Alcrona (para postiços). O tratamento Duplex visa aumentar a vida útil dos moldes e diminuir a manutenção dos mesmos em serviço, principalmente em termos de fadiga térmica e adesão de alumínio na superfície dos moldes. Os resultados obtidos em testes de campo mostram que a utilização deste tipo de tratamento reduz a formação de compostos intermetálicos, com conseqüente redução da adesão de alumínio, e aumentam a vida útil dos moldes, sendo, portanto uma boa solução a ser utilizada neste tipo de aplicação.

Palavras-chave: Injeção de alumínio; Nitretação; PVD.

BALINIT® LUMENA AND ALCRONA DUPLEX SURFACE TREATMENT OF H13 TOOL STEELS FOR ALUMINUM DIE CASTING CAVITIES AND CORES

Abstract

The aim of this work is to evaluate the behavior of cavities and cores for aluminum die casting made of AISI H13 steels type with Duplex surface treatment. This treatment consists of low pressure nitriding plus PVD coating (Physical Vapor Deposition). Two types of coatings were evaluated: Balinit® Lumena (for cavities and cores) and Balinit® Alcrona (for cores). Duplex treatment aims to increase molds lifetime and to reduce their maintenance during service, mainly in terms of thermal fatigue and adhesion of aluminum onto the mold surface. Present results showed that uses of these treatments reduce formation of intermetallic compounds, with subsequent reduction in aluminum adhesion, and increases mold lifetime. Therefore, combined surface treatments are it is a good solution to be used in such application.

Key words: Die casting; Nitriding; PVD.

¹ *Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP*

² *Engenheiro Metalurgista, Doutor em Engenharia de Materiais, Gerente de Produto para Moldes e Matrizes, Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos.*

³ *Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia Metalúrgica, Engenheiro de Processos e Aplicação, Oerlikon Balzers Revestimentos Metálicos.*

1 INTRODUÇÃO

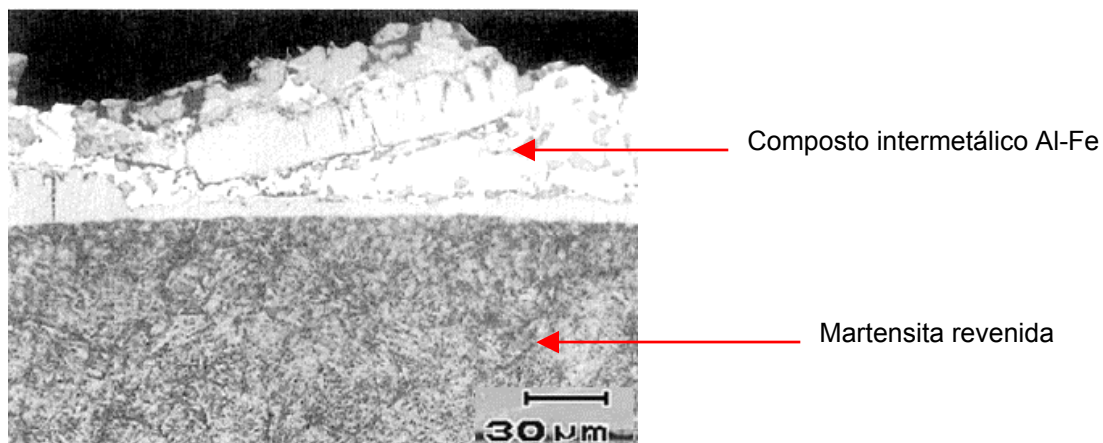
O desgaste e as falhas por fadiga térmica são dois dos principais fatores que afetam a vida útil de moldes utilizados no processo de injeção de alumínio.^[1-3] O processo de desgaste está geralmente associado aos desgastes adesivo e erosivo; o primeiro é causado pela adesão de alumínio fundido na superfície do molde, formando compostos intermetálicos que deterioram a ferramenta, enquanto que o segundo pode ser causado por cavitação do alumínio líquido, choque de partículas de material solidificado e arraste mecânico provocado pelas altas velocidades de injeção. A fadiga térmica está, por sua vez, associada aos ciclos térmicos que ocorrem durante o processo: aquecimento da superfície quando em contato com o material fundido e resfriamento após a extração da peça solidificada.

A Figura 1 ilustra esquematicamente os principais tipos de danos a que uma cavidade está sujeita durante o processo de injeção de alumínio.



Figura 1 – Danos provocados às cavidades durante o processo de injeção de alumínio – esquemático.⁽¹⁾

A Figura 2 mostra a formação de compostos intermetálicos de Al-Fe sobre a superfície de um molde de H13 apenas temperado e revenido.

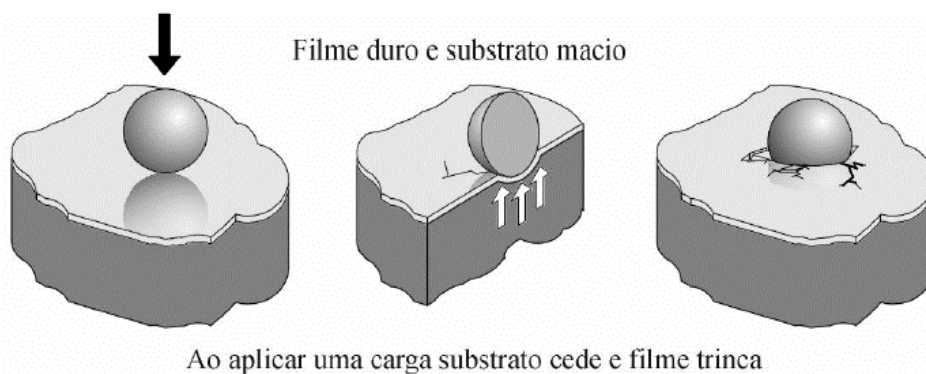


Fonte: Oerlikon Balzers.

Figura 2 – Micrografia mostrando a formação de composto intermetálico Al-Fe sobre a superfície de molde de H13 utilizado no processo de injeção de alumínio. Ataque Nital 2%.

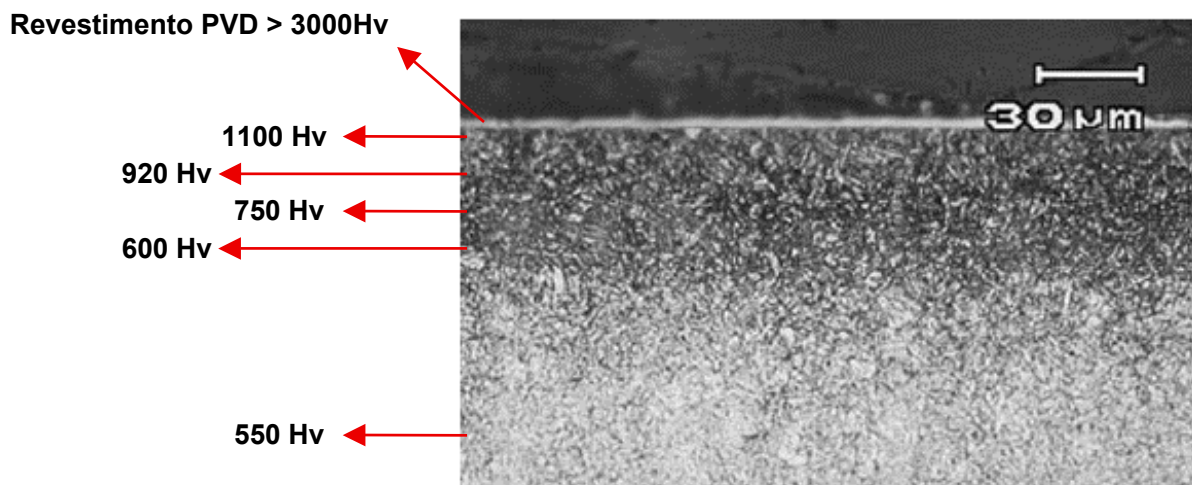
O uso do tratamento Duplex alia os benefícios proporcionados tanto pela nitretação como pelo revestimento PVD. Quando o processo de nitretação é realizado adequadamente e a camada nitretada tem uma profundidade apropriada, tensões compressivas são geradas na superfície, contribuindo assim para retardar a nucleação e a propagação das trincas de fadiga, retardando, portanto, a falha por fadiga térmica. Os revestimentos PVD, de um modo geral, são inertes quimicamente, têm baixo coeficiente de atrito, alta dureza, e alta estabilidade térmica. Devido a esta combinação de propriedades, os revestimentos diminuem sensivelmente a formação de compostos intermetálicos Al-Fe, contribuindo para a redução do desgaste adesivo e facilitando a limpeza dos moldes durante o processo. O baixo coeficiente de atrito auxilia, por sua vez, na redução do desgaste erosivo.

Além disso, a camada nitretada proporciona a formação de um gradiente de dureza da superfície até o núcleo do material. Como a diferença de dureza entre o revestimento e o aço temperado e revenido é muito alta, pode haver ocorrência do fenômeno da “casca de ovo”, isto é, como o substrato é muito macio em relação ao revestimento, a aplicação de uma carga pode levar ao rompimento do mesmo, comprometendo sua eficiência. A presença da camada nitretada minimiza este efeito devido ao gradiente de dureza gerado. A Figura 3 ilustra este efeito, enquanto que a figura 4 mostra o gradiente de dureza que existe num tratamento Duplex.



Fonte: Oerlikon Balzers.

Figura 3 – Efeito “casca de ovo”.



Fonte: Oerlikon Balzers.

Figura 4 – Gradiente de dureza obtido no tratamento Duplex. Ataque Nital 2%.

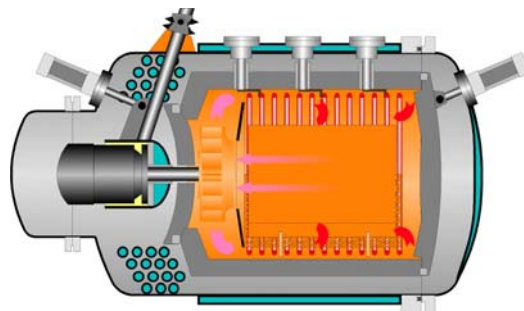
Basicamente, existem quatro tipos de processos de nitretação disponíveis comercialmente: banho de sais, o gás, a plasma, e à baixa pressão. Este último foi introduzido recentemente no Brasil pela Oerlikon Balzers, e consiste na utilização de gases geradores de nitrogênio atômico à baixa pressão durante o processo. A boa homogeneização da temperatura e do fluxo de gases que se consegue graças à baixa pressão e o uso de uma turbina no forno permite a obtenção de camadas nitretadas compactas e homogêneas. Além disso, o uso deste processo permite um controle relativamente simples da espessura da camada e a inexistência da camada de compostos (camada branca), que pode ser prejudicial para muitas aplicações.

A Figura 5 mostra o equipamento utilizado neste processo, enquanto que a Tabela 1 é um quadro comparativo entre os diversos processos de nitretação citados anteriormente.



Forno de nitretação à baixa pressão.

Fonte: Oerlikon Balzers.



Interior da câmara, mostrando a turbina e o fluxo de gases durante o processo.

Figura 5 – Forno de nitretação à baixa pressão.

Tabela 1 – Quadro comparativo entre os processos de nitretação disponíveis comercialmente.

Tecnologia de nitretação	Gás	Sal	Plasma	Baixa Pressão
Benefícios				
Homogeneidade da camada nitretada	••	••	•	•••
Possibilidade de tratamento em furos profundos	•	•	–	•••
Seleção de camadas nitretadas	–	–	•••	•••
Camadas compactas	–	–	•••	•••
Peças sem oxidação superficial	–	–	•••	•••

Fonte: Oerlikon Balzers

Legenda: ••• Excelente; •• Bom; • Regular; – Ruim.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como o objetivo foi estudar o tratamento duplex visando otimizar a vida de matrizes de injeção de alumínio, o aço ferramenta ficou definido como aço AISI H13 beneficiado para estas aplicações que é temperado e revenido para a dureza de 45 a 47 HRC. Como se buscou a otimização frente à corrosão por alumínio e fadiga térmica, buscou-se a realização da nitretação a baixa pressão (aumento de resistência á fadiga térmica) e a deposição de filmes inertes de Lumena e Alcrona (aumento de resistência ao ataque pelo alumínio), sendo que no primeiro caso, o interesse esta centrado em uma excelente camada de difusão e no segundo caso na determinar de qual revestimento é mais apropriado para evitar a falha do filme em posições e cavidades. Além disso, uma boa camada de difusão potencializa a adesão do filme.

Logo, em uma primeira etapa, buscou-se o estudo do melhor parâmetro de nitretação a baixa pressão para preparação do substrato para a obtenção das camadas duplex, sendo a camada nitretada excelente para esta aplicação caracterizada por: dureza superficial, perfis de microdureza e metalografia. Após a preparação do substrato nitretado, iniciou-se o estudo do Duplex com deposição dos revestimentos Lumena e Alcrona, sendo as camadas duplex caracterizadas via metalografia, adesão via indentação estática de dureza HRC e ensaio de fadiga térmica em banho de alumínio em testes industriais. Foram realizados testes em regime industrial, em condições reais de processo de posições de material H13 tratadas com Duplex Lumena e Duplex Alcrona a também nas cavidades tratadas com Duplex Lumena. Durante a nitretação a baixa pressão foram colocados corpos de prova de material e dureza similar ao das ferramentas tratadas para determinar as características da camada nitretada obtida durante o processo. O fluxograma abaixo mostra resumidamente a metodologia empregada.

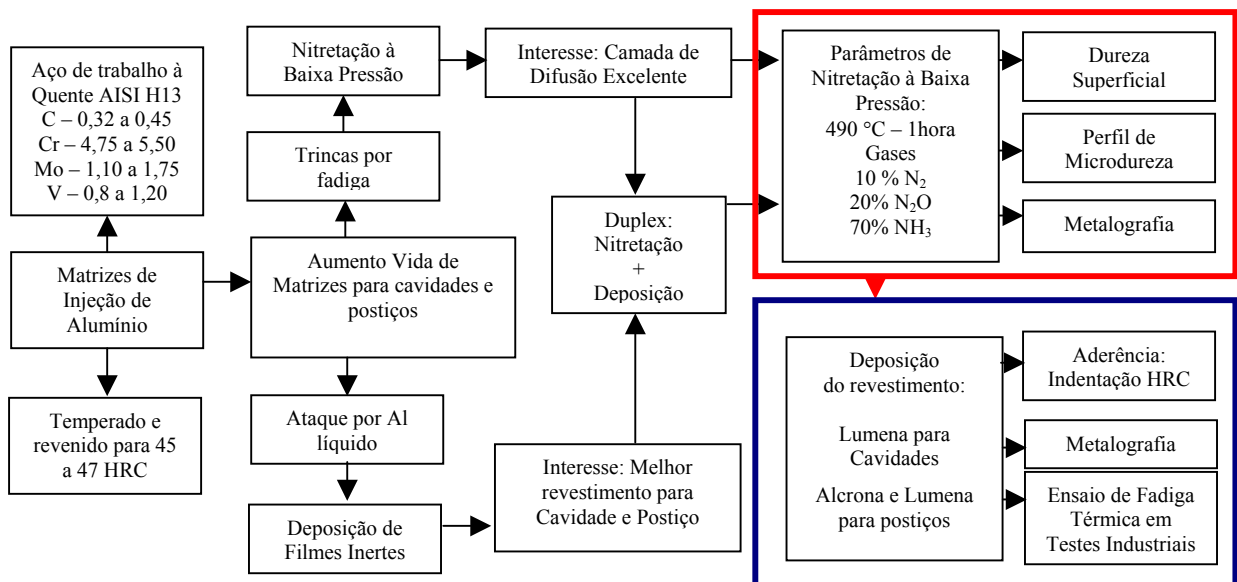


Figura 6. Fluxograma Metodológico

2.1 Materiais

As amostras foram obtidas a partir de uma barra redonda com diâmetro de 25 mm de um aço ferramenta para trabalho a quente classe AISI H13, com composição química mostrada na Tabela 2.

A barra foi seccionada em corpos de prova no diâmetro da barra e com a altura de 10 mm e preparada em lixamento para remoção da camada de óxido, sendo que uma das superfícies foi conforme procedimentos típicos de metalografia.

Tabela 2 – Composição química dos corpos de prova do aço H13 e a especificação segundo AISI.

Elementos	Corpos de prova do aço H13	Especificação AISI H13
C	0,40	0,32 a 0,45
Si	0,92	0,8 a 1,25
Mn	0,39	0,20 a 0,60
P	0,024	0,030 máx
S	0,008	0,030 máx
Cr	4,73	4,75 a 5,50
Ni	0,14	-----
Mo	1,20	0,80 a 1,20
V	1,07	-----
Ti	0,005	-----
Al	0,010	-----
W	0,04	-----
Co	0,03	-----

2.2 Parâmetros da Nitretação à Baixa Pressão

Considerando as condições de contorno desejadas para a camada nitretada, assim como, os parâmetros de nitretação a baixa pressão para a obtenção de uma camada com as características desejadas, a segunda etapa da metodologia contemplou na caracterização da nitretação que se observaram melhores resultados para a aplicação injeção de alumínio.

O gás empregado na realização dos tratamentos de nitretação a baixa pressão foi composto de uma mistura gasosa contendo 10 % N₂, 20 % N₂O e 70 % NH₃, visando inibir a formação da camada de compostos, considerando que esta foi uma das condições de contorno para a realização do desenvolvimento. Foi utilizada uma temperatura (490°C) num tempo de uma hora de nitretação à baixa pressão fora as etapas de convecção de gases e preparação da atmosfera do forno.

2.2.1 Caracterização das camadas nitretadas

A caracterização das camadas nitretadas foi baseada na realização de análises metalográficas em microscopia ótica, buscando identificar a presença de camada de compostos e de carbo-nitretos precipitados, ambas a princípio indesejáveis no trabalho em questão. Foram realizados ensaios de microdureza para determinação dos valores de dureza superficial, bem como perfis dureza em função das diferentes condições de tratamento realizadas. Sob o ponto e vista de desempenho dos revestimentos, as características de adesão assumem elevada importância. O próprio emprego do substrato nitretado objetiva ganhos de adesão e de desempenho. Nesta ótica, a ausência de nitretos, óxidos ou demais impurezas superficiais no substrato nitretado torna-se uma exigência.

2.3 Deposição de Balinit Lumena (TiAlN) – Nitreto de Titânio Alumínio e Balinit Alcrona (AlCrN) – Nitreto de Cromo Alumínio

As amostras nitretadas na condição otimizada foram submetidas à deposição dos revestimentos PVD: TiAlN (Balinit Lumena) e AlCrN (Balinit Alcrona) na temperatura de 450°C. As camadas depositadas apresentaram de 8 µm a 12 µm para o revestimento TiAlN (Balinit Lumena) e de 1 µm a 6 µm para o revestimento AlCrN (Balinit Alcrona).

2.3.1 Avaliação da adesão dos revestimentos

A adesão das camadas de TiAlN (Balinit Lumena) e de AlCrN (Balinit Alcrona) foram avaliadas por ensaio estático de dureza HRC, avaliando o comportamento do revestimento depositado com relação ao surgimento de trincas e da interface filme substrato, observadas em microscopia ótica conforme esquema representativo da Figura 5.

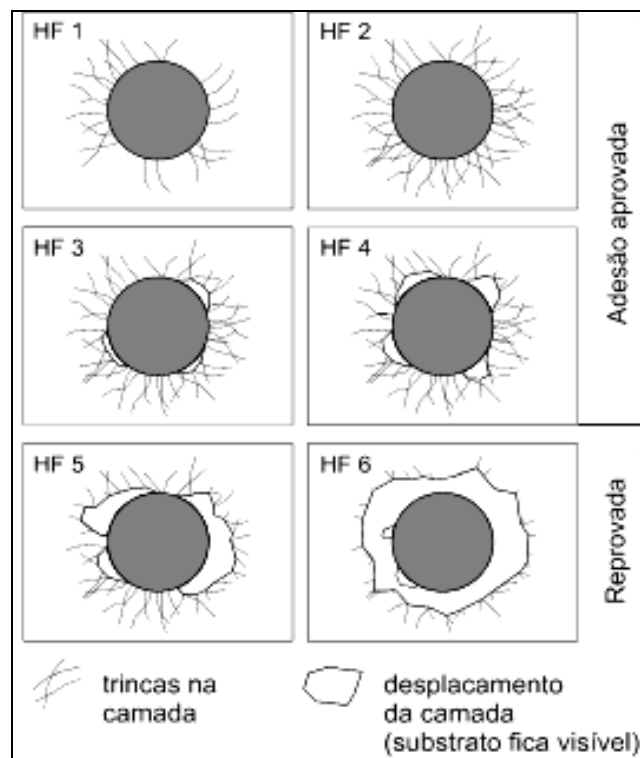


Figura 5 – Esquema representativo do critério de aprovação para adesão do revestimento após teste de indentação estática de dureza HRC. Fonte Oerlikon Balzers.

2.3.2 Experimento em regime industrial

Visando estabelecer os ganhos obtidos através de ensaios em regime industrial, foram tratados superficialmente: um postigo com Duplex Alcrona, um postigo com Duplex Lumena para se comparar com um postigo apenas nitretado sem revestimento. Também para se obter os ganhos obtidos através do tratamento superficial Duplex foram tratadas cavidades com Duplex Lumena para se comparar com as cavidades apenas temperadas e revenidas. Os três postigos foram montados em três cavidades idênticas e submetidas a um regime industrial, possibilitando a avaliação do comportamento simultaneamente dos três postigos com o mesmo número de injeções.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 mostra os resultados das análises metalográficas realizadas em corpo de prova de material H13 após o processo de nitretação. A profundidade efetiva de camada obtida ficou em torno de 0,10 mm, e a mesma foi analisada em termos do perfil de microdureza Vickers (HV0,3). Para determinação da profundidade efetiva de camada, foi utilizado o critério dureza do núcleo mais 100HV.

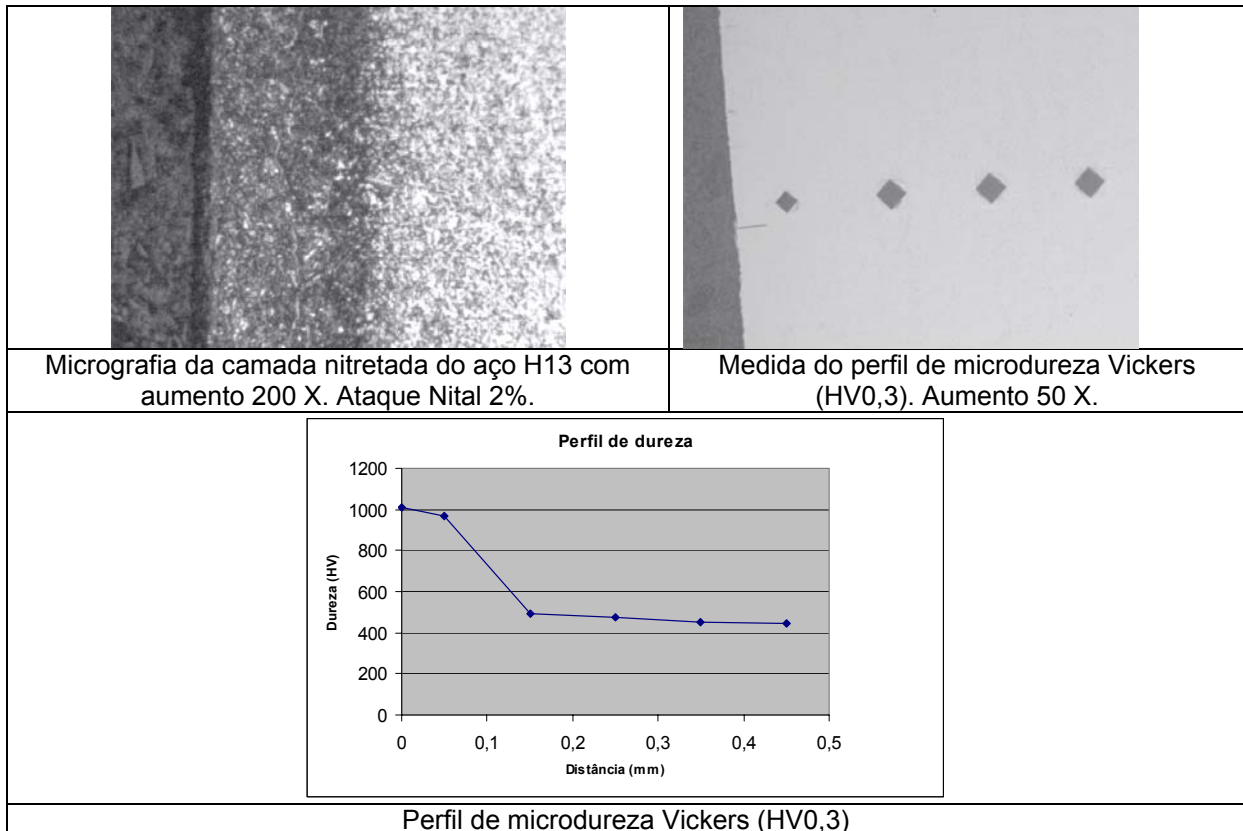


Figura 6 – Análise metalográfica de corpo de prova H13 utilizado durante o processo de nitretação, mostrando a morfologia da camada, o perfil de microdureza e os valores obtidos na medição.

Pela análise da morfologia da camada obtida, percebe-se a inexistência da camada branca de nitretação, a qual é prejudicial quando se deseja realizar o tratamento Duplex. Além disso, pode-se observar também que a camada nitretada é bastante compacta, homogênea e isenta de trincas e de formação de redes de carbonitreto. A dureza do núcleo permaneceu inalterada, mostrando que a temperatura do processo de nitretação não afetou as características do tratamento térmico anterior.

A Figura 7 mostra os testes de adesão via indentação estática de dureza HRC realizado nos dois postigos revestidos. Observa-se que os dois revestimentos apresentaram poucas trincas e nenhum tipo de deslocamento próximo a indentação, logo, os mesmos apresentaram uma adesão excelente.

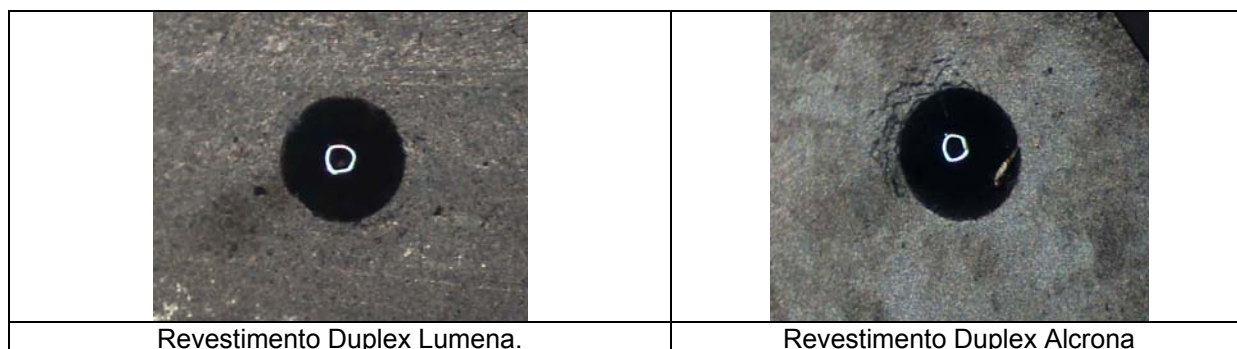


Figura 7 – Teste de adesão via indentação estática de dureza HRC realizado nos dois posições revestidos com Lumena e Alcrona respectivamente. Aumento 50X.

A Figura 8 mostra o aspecto de posições de H13 utilizados na injeção de alumínio, nas seguintes condições: apenas nitretada (condição atual de processo), com tratamento Duplex Alcrona e com tratamento Duplex Lumena, após aproximadamente 3000 ciclos de injeção, o que corresponde à vida útil média destes posições neste processo. Como pode ser observada na Figura 7(b e c), a adesão de alumínio na superfície diminuiu sensivelmente com a utilização do revestimento, sendo menor para o revestimento Alcrona do que para o revestimento Lumena.

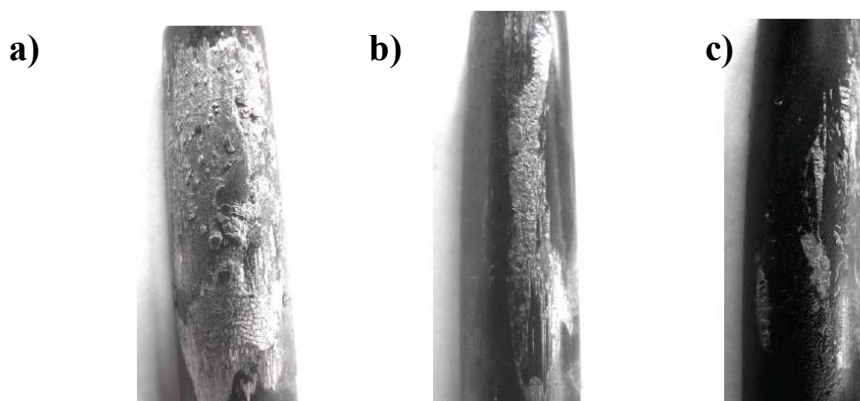


Figura 8 – Aspecto superficial de posições de H13 após aproximadamente 3000 ciclos de injeção. a) somente nitretado; b) Duplex Lumena; c) Duplex Alcrona.

A Figura 9 mostra análises metalográficas que foram feitas nestes posições, nas mesmas condições citadas anteriormente. Como pode ser observado, no posição somente nitretado existe a formação de compostos intermetálicos de Al-Fe na superfície do mesmo, o que contribui para um maior desgaste adesivo e redução da vida útil do posição. Nos posições revestidos, tanto com Alcrona como Lumena, a formação destes compostos não foi observada, apenas houve adesão de alumínio sobre o revestimento. O revestimento ainda está presente sobre a superfície do aço, atuando como barreira entre o substrato e o alumínio fundido. Apesar de haver adesão de alumínio sobre o revestimento, a sua retirada torna-se muito mais facilitada, uma vez que não houve formação de nenhum composto com o substrato.

Após esta análise, os posições continuaram em serviço, e até o momento o posição tratado com Duplex Alcrona já realizou 11.000 ciclos de injeção, enquanto que o posição tratado com Duplex Lumena já realizou 5.500 ciclos de injeção, sem realização de trocas ou polimentos, contra 3.000 ciclos de vida útil de posições apenas nitretados.

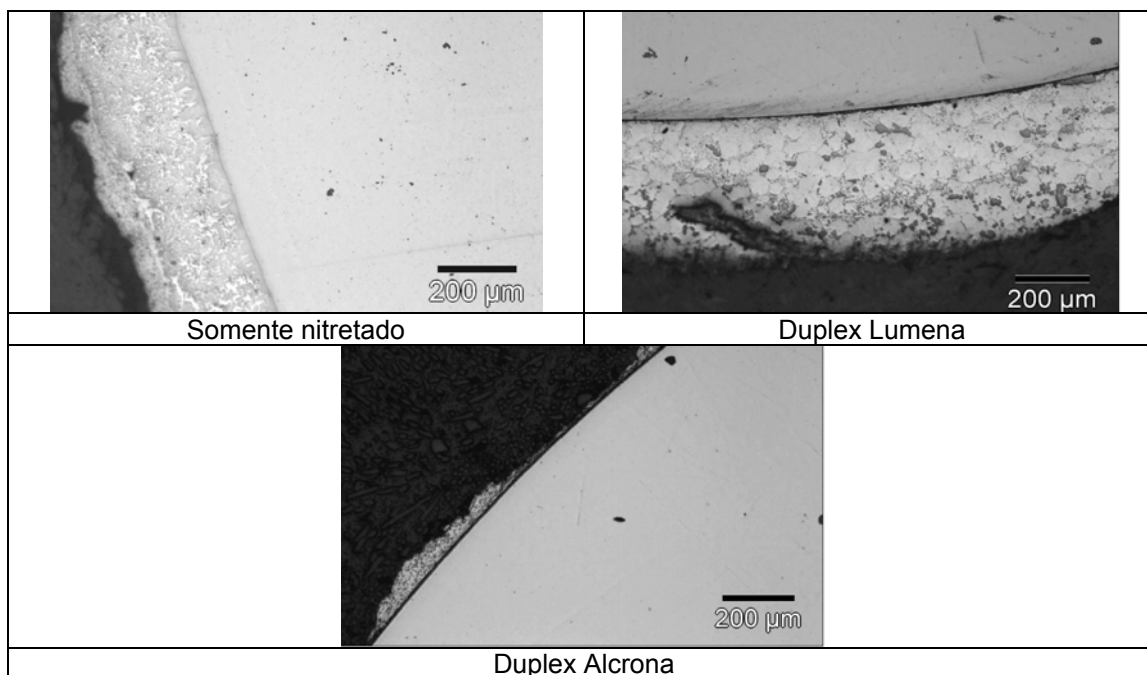


Figura 9 – Análise metalográfica de postigos de H13 após 3000 ciclos de injeção.

A Figura 10 mostra um exemplo de cavidade de injeção de alumínio tratada com Duplex Lumena que foi submetida a testes em condições reais de serviço. Os resultados obtidos em termos de vida útil do molde também são mostrados na figura.

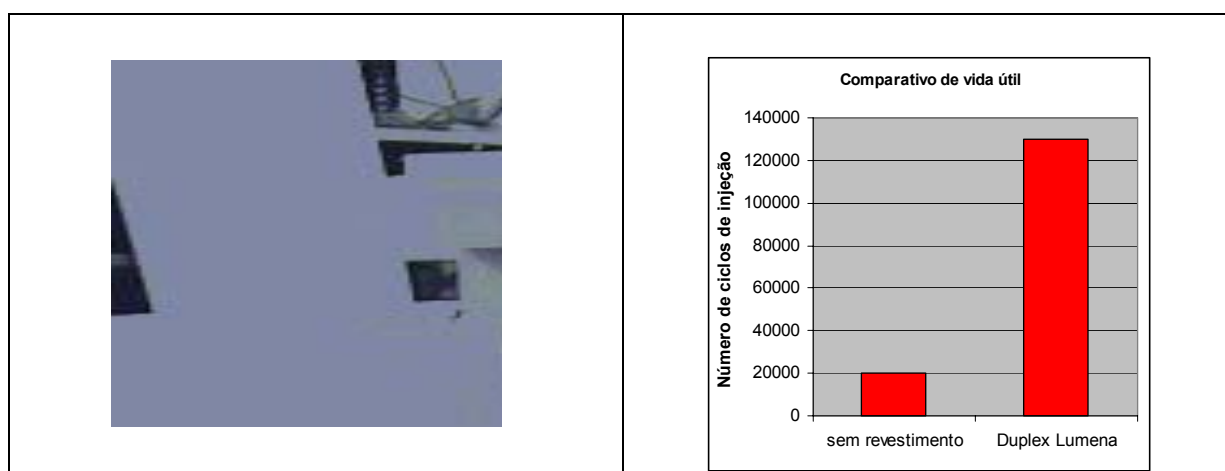


Figura 10 – Teste em regime industrial das cavidades para injeção de alumínio em condições normais de processo e os resultados obtidos.

A vida útil do molde (cavidade) foi comparada com a condição de molde somente temperado e revenido, sem nenhum tipo de tratamento superficial. Esta saltou de aproximadamente 20.000 tiros para aproximadamente 130.000 tiros, o que representa um aumento de 6,5 vezes na vida útil. Assim, mesmo com os custos associados ao tratamento superficial Duplex Lumena, existe uma grande economia no final devido ao aumento significativo observado na vida útil do molde. Além disso, o uso deste tratamento torna a manutenção das cavidades e postigos mais fácil, diminuindo tempo de máquina parada, e facilita a extração das peças, podendo resultar em diminuição do tempo de ciclo de injeção e aumento de produtividade. É importante ressaltar que os resultados de aumento de vida útil, tanto para cavidades

como para postigos, dependem também das condições e parâmetros de processo, tais como tipo de liga, temperatura do metal fundido e dos moldes, geometria da peça, lubrificação, entre outras. Assim, os resultados aqui apresentados podem variar dependendo destas condições.

4 CONCLUSÃO

O emprego dos tratamentos superficiais em regime industrial realizado mostram que o revestimento de Nitreto de Titânio Alumínio (TiAlN) - Balinit Lumena apresenta comportamento superior para cavidades dos moldes comparado a cavidade sem tratamento superficial, devido a possuírem menores tensões residuais compressivas possibilitando deposições de maiores espessuras além do menor coeficiente de expansão térmica. Já para postigos o revestimento (AlCrN) Balinit Alcrona apresenta comportamento superior em relação a o revestimento TiAlN – Balinit Lumena devido a sua maior temperatura de oxidação 1100 °C em relação a TiAlN - Lumena em torno de 800 °C.

Com relação ao emprego da nitretação prévia do componente para posterior deposição dos filmes, ou seja, o emprego do tratamento “Duplex”, observa-se que tanto para o revestimento de TiAlN como para AlCrN, o desempenho vem se mostrando superior quando a cavidade ou postigo passa pela nitretação, seguido do revestimento PVD.

Não foram observadas trincas de fadiga térmica em nenhum das cavidades com mais de 130.000 injeções e para os postigos também com mais de 11.000 injeções, indicando que, nas regiões de maior solicitação em termos de impacto, abrasão e temperatura que são as regiões frontais aos canais de injeção, a falha do depósito ocorre antes da formação das trincas de fadiga térmica, permitindo então, os mecanismos de corrosão pelo alumínio líquido.

O uso do tratamento superficial Duplex Lumena e Alcrona para cavidades e postigos de moldes de injeção de alumínio tem se mostrado bastante vantajoso, pois de acordo com os resultados discutidos anteriormente, que foram obtidos em condições reais de processo, é possível atingir aumentos consideráveis de vida útil, resultando em diminuição de custos. Além disso, aumento de produtividade resultante de manutenção e limpeza facilitada dos moldes e a possibilidade de redução de ciclos de injeção deve ser também considerada, o que torna os ganhos obtidos com o uso deste tratamento ainda maiores.

REFERÊNCIAS

- 1 DINGREMONT, N., BERGMANN, E., COLLIGNON, P. Application of duplex coatings for metal injection moulding. Surface and Coatings Technology v. 72, p. 157-162, 1995.
- 2 PERSSON, A., HOGMARK, S., BERGSTRÖM. Thermal fatigue cracking of surface engineered hot work tool steels Surface and Coatings Technology, v. 191, p. 216-227, 2005.
- 3 PANJAN, P., CEKADA, M., KIRN, R., SOKOVIC, M. Improvement of die-casting tools with duplex treatment. Surface and Coatings Technology, v. 180-181, p. 561-565, 2004.