

ANÁLISE DO REVESTIMENTO METÁLICO APLICADO EM MATRIZ DE CONFORMAÇÃO DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO EM AÇOS INOX AUSTENÍTICOS

José Mario Fernandes De Paiva Junior¹

Nichelly Katiúcia Dias²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo testar a aplicação de um revestimento metálico, depositado em matrizes de conformação, para a fabricação de parafusos em aços Inox Austeníticos 302 HQ. Um dos problemas que ocorrem durante o processo de conformação é a adesão do material conformado, o Aço Inox 302HQ na matriz de conformação revestida com TiCN (Carbonitreto de Titânio). O revestimento metálico testado, foi o Nitreto de Titânio Alumínio o TiAlN. As matrizes de conformação passaram pelos seguintes processos: usinagem, polimento para reduzir a rugosidade, nitretação e revestimento com TiAlN. Para analisar o comportamento do novo revestimento, foram utilizados os seguintes testes: análise de integridade superficial através da rugosidade; ensaios de caracterização microestrutural por MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura); ensaio de adesividade do revestimento; testes de estampagem; análise metalográfica nas linhas de deformação de um parafuso conformado pela primeira matriz testada. Determinou-se que as matrizes devem apresentar um padrão de rugosidade superficial, para evitar o desgaste e melhorar o processo. No processo de conformação é fundamental que não tenha falhas. Uma variável que deve ser controlada é o alinhamento entre a ferramenta e o blank. A ferramenta revestida pelo processo de PVD, com TiAlN apresentou produtividade considerável, adequando-se ao processo.

Palavras-chave: Revestimentos. Nitreto de Titânio Alumínio. Conformação.

¹Mestre, e-mail: josemario@sc.senai.br

²Tecnóloga, e-mail: nichelly.dias@sc.senai.br

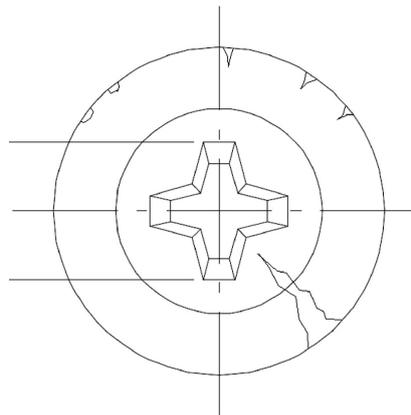
1 INTRODUÇÃO

Com a ampla utilização de elementos de fixação (parafusos, porcas, arruelas, etc.), as indústrias têm a necessidade de buscar novas pesquisas que visam o aumento da produtividade. A utilização de matrizes de conformação com superfícies revestidas, contribui para o aumento na eficiência dos processos produtivos, refletindo no aumento da vida das ferramentas, no menor número de setups e na redução da ocorrência de falhas e paradas indesejadas da produção.

As indústrias do setor metal-mecânico utilizam técnicas de modificação das superfícies de ferramentas de conformação mecânica sujeitas ao desgaste, em função do processo e meio em que trabalham. Considerando as inúmeras alternativas de tecnologias disponíveis, a tecnologia de deposição de revestimentos pelo processo de PVD (Deposição Física por Vapor) se torna cada vez mais empregada em ferramentas de conformação para a redução de desgaste e conseqüente aumento de vida útil das mesmas (KALPAKJIAN; SCHMID, 2008). Os tratamentos de superfícies com revestimentos desenvolvidos pelo processo PVD, contribuem para a diminuição do coeficiente de atrito, o que possibilita um acréscimo no desempenho da matriz utilizada no processo de conformação (PESCH et al., 2003).

Atualmente, o principal problema durante a fabricação dos elementos de fixação é a formação de trincas na região da borda da cabeça dos parafusos (figura 1), isso eleva a taxa de sucateamento do processo. E também pode reduzir a qualidade do produto, tanto na aparência, quanto em suas propriedades mecânicas. (DE PAULA, 2010).

Figura 1: Vista superior de parafuso de cabeça redonda flangeada com fenda Phillips, ilustrando as trincas



Fonte: De Paula (2010)

Observam-se diferentes problemas na fabricação de parafusos de aço inoxidável AISI 302HQ:

- a) queda de rendimento do ferramental;

- b) aderência de material nas matrizes de conformação;
- c) sujeira excessiva na máquina;
- d) quebra de punções de conformação de fenda Phillips.

De acordo com De Paula (2010), a frequência da ocorrência de trincas nos parafusos é aleatória, e a inspeção é feita por sub-lotes: ela é realizada assim que os parafusos encham o recipiente menor. Uma grande quantidade de parafusos é rejeitada, tornando-se refugo, conseqüentemente, o tempo gasto para produzir determinada quantidade de parafusos nesse processo é maior do que deveria ser, pois boa parte desse tempo é gasto na fabricação de produtos defeituosos, e na produção de refugo. Além disso, assim que é detectada a ocorrência de trincas, o operador pára a máquina e toma providências, portanto, o problema das trincas acarreta o aumento de tempo no processo.

As matrizes de conformação foram fabricadas em empresa do setor, pelo processo de usinagem CNC e eletro-erosão. Em seguida passaram por um processo de polimento a fim de melhorar as propriedades da superfície. Antes de revestir as matrizes, estas passaram pelo tratamento térmico de nitretação.

Após a nitretação as matrizes foram revestidas com TiAlN (Nitreto de Alumínio e Titânio). A tabela 1 mostra a descrição das principais características dos revestimentos atual TiCN e o novo TiAlN.

Tabela 1: Principais características dos revestimentos – Adaptação Oerlikon Balzers

Material do Revestimento	Microdureza HV	Coefficiente de atrito	Temperatura °C	Espessura Max. m	Cor
TiAlN	3300	0,30 – 0,35	900	3	cinza violeta
TiCN (atual)	3000	0,4	400	4	azul-acinzentado

Fonte: Oerlikon Balzers ([2010])

Por apresentar um coeficiente de atrito um pouco menor que o revestimento atual, o TiAlN obteve melhor destaque neste estudo.

O presente trabalho pretende analisar o desempenho do revestimento metálico TiAlN depositado em matrizes de conformação a frio, usadas na fabricação de elementos de fixação em aços Inox Austeníticos. Alguns objetivos específicos foram traçados: definir padrões de acabamento superficial da matriz de conformação, para conseqüentemente, depositar revestimentos metálicos; identificar mecanismos de falha ao longo do processo produtivo.

2 MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo consiste em, inicialmente através de análise de integridade superficial das ferramentas, identificar a topografia da superfície e suas propriedades de adesão mecânica. Através dessa análise será possível avaliar os parâmetros que influenciam as condições ideais para adesividade do revestimento sobre determinada matriz de conformação para a fabricação de elementos de fixação.

As atividades de ensaios técnicos e análise de resultados serão distribuídas da seguinte maneira:

- a) Ensaios de caracterização microestrutural por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV);
- b) Avaliar o grau de acabamento das ferramentas revestidas;
- c) Caracterização microestrutural do aço ferramenta.

O ensaio de adesividade do revestimento em relação à camada superficial ao substrato será desenvolvido com o intuito de definir o bom desempenho de adesão do revestimento. Já, para testes de estampagem foi disponibilizado uma prensa hidráulica 2T na unidade fabril da empresa parceira deste estudo.

3 RESULTADOS OBTIDOS

As matrizes de conformação (figura 2) foram fabricadas pela empresa parceira deste projeto, em aço AISI D6, conforme especificação do American Institute of Steel and Iron (AISI). Após a usinagem foram medidas a rugosidade das matrizes, e depois polidas. Posteriormente, as matrizes foram encaminhadas para tratamento termoquímico nitretação e revestidas com filme fino TiAlN (Nitreto de Titânio e Alumínio).

Figura 2: Vista superior da matriz de conformação de elementos de fixação



Fonte: Dos autores (2011)

Foram medidas as rugosidades das matrizes, antes de passar pela nitretação, como a rugosidade se encontrava muito alta, as matrizes foram polidas mais de uma vez, a tabela 2 mostra a média das rugosidades das matrizes.

Tabela 2: Média da rugosidade das matrizes

sem polimento	0,11 μm
1º polimento	0,052 μm
2º polimento	0,045 μm

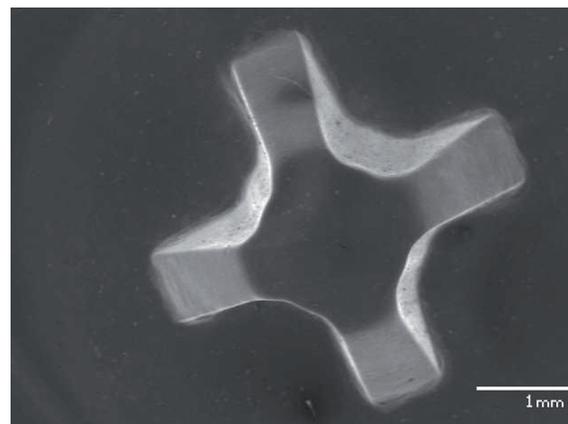
Fonte: Dos autores (2011)

Devido ao processo de usinagem, as matrizes apresentavam uma rugosidade inadequada, para serem nitretadas, portanto, foram encaminhadas para o processo de polimento.

3.1 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

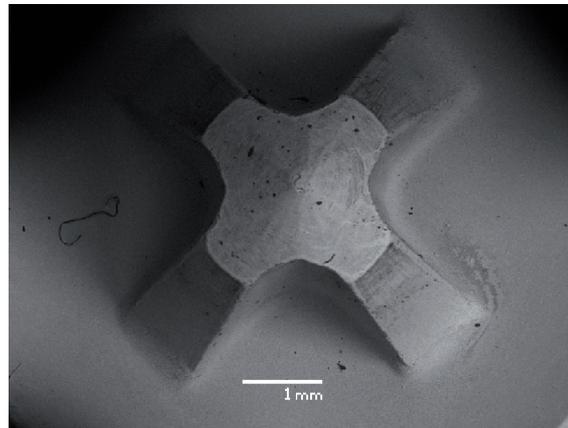
O objetivo desta etapa serve para avaliar o grau de acabamento das matrizes revestidas e se apresentam falhas no revestimento através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Foram feitas micrografias da ferramenta nova revestida com TiAlN (figura 3) e da revestida com TiC (figura 4).

Figura 3: Vista do topo Ferramenta Revestida com TiAlN. Ampliação 20x



Fonte: Dos autores (2011)

Figura 4: Vista do topo Matriz Revestida com TiC. Ampliação 18x



Fonte: De Paula (2010 apud PUC-PR, 2010)

Comparando os dois resultados de micrografias (fig. 3 e 4), a figura 4, que apresenta a matriz revestida com TiC, mostra a distribuição não-uniforme do revestimento devido ao processo de aplicação. Observando a figura 3 da matriz revestida com TiAlN, observa-se a boa distribuição do revestimento formando uma camada uniforme ao longo da topografia da matriz.

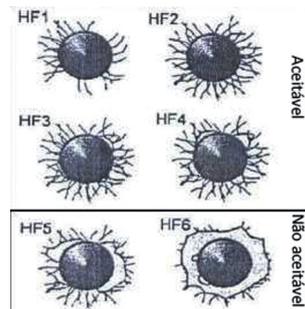
3.2 Adesividade do revestimento

O objetivo deste ensaio é avaliar a adesividade dos revestimentos depositados sobre os substratos. O ensaio consiste em indentar o conjunto revestimento/substrato através de um ensaio de dureza. (FONSECA; MACHADO, 2006)

Bhushan (1991, apud KÖNIG, 2007), descreve que a adesividade das camadas de revestimento ao substrato são avaliadas através do método de indentação. A análise na matriz sem uso mostra o surgimento de trincas radiais e longitudinais. Entretanto, a amostra ainda apresentou boa adesão segundo o padrão escolhido como referência

Para avaliar a adesão entre o substrato e o filme revestido foram usados os padrões HF figura 5. As indentações foram realizadas no equipamento Wilson Rockell, a carga utilizada foi de 150 kgf e o penetrador foi um cone de diamante

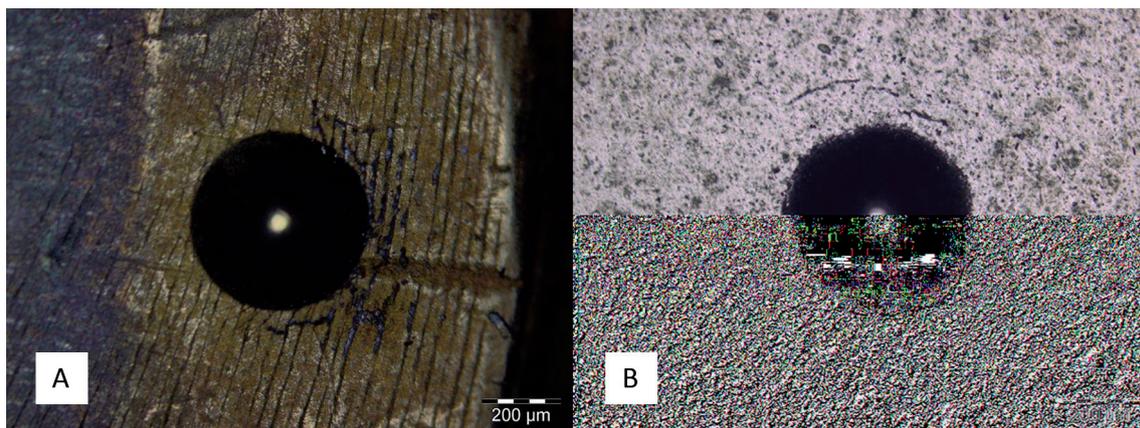
Figura 5: Padrões HF para adesão de revestimentos



Fonte: Heinke (1995, apud KÖNIG, 2007)

Para comparar as indentações feitas na matriz revestida com TiAlN, utilizou-se a indentação feita pela PUC-PR (2010, apud DE PAULA, 2010) da matriz revestida com TiC na figura 6.

Figura 6: Indentação HRC Ferramenta Revestida com TiC; B – Indentação HRC Ferramenta Revestida com TiAlN



Fonte: Dos autores (2011)

A figura 6A mostra a matriz revestida com TiCN evidenciada pelas trincas ao redor da indentação, a má adesão do revestimento no substrato da matriz, podendo analisar também o péssimo acabamento da matriz. A figura 6B mostra a Indentação realizada na ferramenta revestida com TiAlN. Observa-se que ocorrem poucas trincas radiais não influenciando na adesão do material no substrato. Da mesma forma, observa-se na figura o bom acabamento do revestimento na matriz.

Como já foi visto na figura 6B, a amostra apresenta uma superfície com uma rugosidade superficial adequada. Ou seja, a importância da preparação da amostra, está relacionada à textura da superfície final, onde o revestimento depositado sobre a superfície acompanha o relevo apresentado. Superfícies com parâmetros de rugosidade elevada apresentam fragilidade na adesão do revestimento, propagando as solicitações de forma mais fácil.

3.3 Teste de estampagem

Três matrizes revestidas com TiAlN foram levadas para testes de estampagem. Para analisar a vida útil da matriz quanto ao processo, parafusos foram selecionados e analisados. A primeira matriz confeccionou 1400 parafusos até parar por quebra, foram coletadas amostras no final do processo. A segunda matriz confeccionou 2210 parafusos até parar por quebra. Amostras foram coletadas no início do processo, nos primeiros 15 minutos de operação e aos 30 minutos de operação. A terceira matriz confeccionou 3700 peças e atingiu o limite de desgaste pré-estabelecido pela fabricante de parafusos.

3.4 Micrografia óptica

Durante o processo de conformação do parafuso foram recolhidas amostras para fazer micrografias. Na análise das linhas de deformação, como pode-se observar na figura 7, as linhas estão bem distribuídas em ambos os lados.

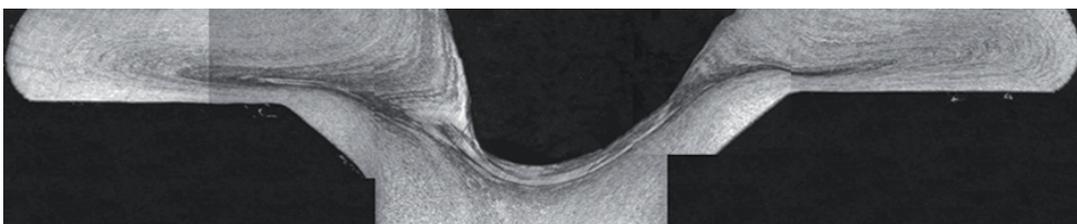
Figura 7: Perfil de parafuso confeccionado com matriz revestida com TiAlN, ampliação em 50x



Fonte: Dos autores

Pode-se comparar as micrografias do parafuso conformado pela matriz revestida com TiAlN. A figura 8 mostra uma micrografia de parafuso conformado pela matriz revestida com TiCN.

Figura 8: Montagem das micrografias do segundo estágio de conformação – Ataque Marble, ampliação 50x. (a) Falha no corte



Fonte: De Paula (2010 apud PUC-PR, 2010)

Na figura 8, observa-se o detalhe (a) uma falha no corte, e também a péssima distribuição das linhas de deformação. As micrografias dos parafusos conformados pela matriz revestida TiAlN obtiveram o melhor resultado.

4 CONCLUSÃO

Foi possível identificar algumas situações referentes ao bom desempenho do revestimento metálico TiAlN depositado em matrizes de conformação a frio, usadas na fabricação de elementos de fixação em aços inox austeníticos. A terceira matriz testa obteve uma boa produtividade de 3700 parafusos.

No processo de conformação, uma importante variável a ser controlada é o alinhamento entre a ferramenta e o blank da matéria prima, esse alinhamento, elimina trinca nas superfícies, bem como facilita a distribuição simétrica das linhas de conformação do produto. Essa informação foi constatada no experimento quando as duas primeiras matrizes quebraram. Observou-se o desalinhamento entre a matriz de conformação e o blank. Destaca-se neste caso a necessidade de atenção do operador, para que este erro ocorra.

Da mesma forma, ferramentas revestidas pelo Processo de PVD, com TiAlN apresentaram produtividade considerável, sendo adequados para o processo de conformação a frio de Aço Inoxidável 302 HQ. Com base neste resultado indicam-se pesquisas futuras para avaliar a matriz de conformação no processo produtivo considerando escala e tempo de produção.

ANALYSIS OF METALLIC COATING USED IN MATRIX CONFORMATION OF FIXING ELEMENTS IN AUSTENITIC STAINLESS STEEL

ABSTRACT

This study aims to test the application of a metallic coating, deposited in forming matrices, to manufacture Austenitic 302 HQ stainless steel screws. One of the problems that occur during the forming process is the adhesion of the conformal material, the Stainless Steel 302HQ, on the forming matrix coated with TiCN (Titanium Carbon Nitride). The metallic coating tested was Titanium Nitride Aluminium, TiAlN. The forming matrices passed through the following processes: machining, polishing to reduce roughness, nitriding and TiAlN coating. The following tests were used to analyze the behaviour of the new coating: analysis of surface integrity by roughness; microstructural characterization tests by SEM (Scanning Electron Microscopy); coating adhesion tests, embossing tests, metallographic analysis: applied to the deformation lines of a screw formed by the first tested matrix. It was determined that the matrices must have a roughness pattern to avoid wear and improve the process. In the forming process it is essential that no flaws should be present. A variable that must be controlled is the alignment between the tool and blank. The tool coated by PVD process, with TiAlN showed considerable productivity, adapting itself to the process.

Keywords: Coatings. Titanium Aluminum Nitride. Forming.

REFERÊNCIAS

OERLIKON BALZERS. **Principais características dos revestimentos**. [S.l.: s.n.], [2010].

Disponível em: <<http://www.oerlikonbalzerscoating.com/bbr/por/01-products-services/015-coating-guide/indexW3DnavidW261.php>> Acesso em: 04 abr. 2011.

DE PAULA, J. J. S. **Análise da formação de trincas durante a conformação a frio de parafusos de aço inoxidável austenítico 302HQ**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação CST em Fabricação Mecânica)- Faculdade de Tecnologia SENAI, Joinville, 2010.

FONSECA, Marcelo Dias da; MACHADO, A. R. **Influência da texturização a laser na vida de insertos de metal duro no fresamento de ferro fundido vermicular e na adesividade do revestimento TiAlN**. 2006. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. **Manufacturing processes for engineering materials**. 5th ed. New Jersey: Pearson Education, 2008.

KÖNIG, Rafael G. **Estudo de desgaste de revestimentos em matrizes de recorte a frio de cabeças de parafusos**. 2007.142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PESCH, P. et al. Performance of hard coated steel tools for steel sheet drawing. **Surface and Coatings Technolog**, 163-164, No.1-3, pp.739-746, 2003.

SOBRE OS AUTORES



**José Mario
Fernandes De
Paiva Junior**

Graduado em Processos Industriais, pela Universidade da Região de Joinville (2004), Mestre em Engenharia Mecânica pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (2007); atualmente é Coordenador do Laboratório de Materiais da Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville, professor titular da Faculdade de Tecnologia Senai-Ctemm; possui experiência na área de Engenharia de Materiais, com ênfase em processos de Usinagem; Expert na modalidade de Tornearia CNC do Torneio Internacional de Formação Profissional - WolrdSkills.



**Nichelly Katiúcia
Dias**

Graduada em Tecnologia em Fabricação Mecânica, pela Faculdade de Tecnologia SENAI (2011); atualmente é Técnica Laboratorista no Laboratório de Materiais da Faculdade de Tecnologia SENAI Joinville. Aluna em regime especial do curso de Mestrado de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.