

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO REVESTIMENTO DE TiCN E DA NITRETAÇÃO NO COEFICIENTE DE ATRITO DETERMINADO PELO ENSAIO DE DOBRAMENTO SOB TENSÃO

Juliano Boeira Ercolani, julianoercolani@ufrgs.br¹
Gabriel Grazziotin, ggabrielgrazziotin@gmail.com¹
Luciano Aparecido Kempinski, luciano.kempinski@erechim.irs.edu.br²
Giovanni Rocha dos Santos, giovanni.santos@senairs.org.br³
Alexandre da Silva Rocha, alexandre.rocha@ufrgs.br¹

¹Univesidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43807 - Centro de Tecnologia. Bairro Agronomia. 91509-900. Porto Alegre - RS.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RS, Rua Domingos Zanella, 104 – Erechim, RS. CEP 99700-000

³SENAI, Rio Grande do Sul, Av. Assis Brasil, 8787, Porto Alegre/RS.

Resumo: Tendo em vista que o principal causador de falhas nos processos de fabricação por conformação mecânica é o atrito, o emprego de revestimentos em ferramentas tem como objetivo aumentar a vida útil dos materiais envolvidos. Visto isso, este estudo tem como principal foco avaliar a influência de um revestimento de TiCN (Carbonitreto de Titânio) e da nitretação aplicados a uma ferramenta em um processo de estampagem com a chapa de aço inoxidável AISI 304, simulado pelo ensaio de Dobramento Sob Tensão. Neste ensaio, o componente que recebeu o revestimento e a nitretação foi o pino, que é por onde a chapa metálica desliza, simulando o raio da matriz durante uma estampagem. No método foram utilizados dois lubrificantes diferentes, para cada condição do pino: apenas nitretação, com revestimento de TiCN e a condição original do pino sem nenhum tratamento, apenas polido. Através dos resultados obtidos, pôde-se observar que, quando realizado o ensaio com lubrificante o coeficiente de atrito foi consideravelmente menor do que nos ensaios realizados a seco. Quando comparados os tratamentos, o ensaio com o pino polido apresentou os melhores resultados, obtendo o menor coeficiente de atrito, enquanto o pino com TiCN teve os piores resultados.

Palavras-chave: Atrito, Revestimento, Lubrificante, Nitretação, TiCN.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho dos materiais durante a estampagem de chapas é fortemente influenciado pelas propriedades superficiais do material, entre elas o atrito. Em razão disso, são utilizados revestimentos nos materiais para se conseguir a sua diminuição. Outro modo de se diminuir o atrito na estampagem é através do uso de lubrificantes.

Um dos métodos para a determinação do atrito pode ser através do ensaio de Dobramento Sob Tensão (DST). Neste ensaio a chapa é tracionada e desliza sobre um pino, sendo o atrito calculado através do torque gerado.

O objetivo do presente trabalho é analisar a influência dos tratamentos de nitretação a plasma e do revestimento de TiCN no atrito do material a ser estampado. Para isso, foram realizados esses tratamentos no pino utilizado no DST e comparados com um ensaio feito em um pino sem tratamento. Uma outra variação analisada foi a utilização do ensaio com e sem lubrificantes.

1.1 Nitretação a Plasma

A nitretação a plasma é um processo termoquímico e físico em que o nitrogênio, presente na forma de íons que constituem o plasma, é primeiro implantado no metal para depois se difundir, gerando uma camada superficial ou nitretada. É obtido através da aplicação de uma descarga elétrica nas peças, que estarão dispostas numa mistura de gases à baixa pressão, chamado de meio nitretante. A nitretação é um tratamento que eleva a dureza da superfície, a resistência à fadiga, a resistência ao desgaste e a resistência à corrosão dos aços.

Sob vácuo, ocorre a formação do plasma, no qual íons de nitrogênio são acelerados a partir de uma diferença de potencial gerada para chocar-se contra a peça de trabalho. Este bombardeamento iônico aquece a peça de trabalho, limpa a superfície e fornece nitrogênio ativo. A nitretação a plasma é capaz de proporcionar um melhor controle da composição química e uniformidade da camada e causar baixa distorção do material a ser nitretado quando comparada com a nitretação gasosa, por exemplo.

1.2 Revestimento TiCN

O TiCN é um revestimento por deposição física de vapor (PVD, do inglês Physical Vapor Deposition). Segundo Filho (2015), o TiCN é descrito na literatura como uma solução sólida de TiC + TiN. Portanto esse filme incorpora as características das duas fases presentes.

As principais propriedades dos revestimentos TiCN residem no fato destes possuírem alta dureza (aproximadamente 3000HV), o que lhes conferem boa resistência ao desgaste. Também possuem boa resistência à corrosão de uma forma geral, tensões residuais compressivas e são capazes de propiciar baixo coeficiente de atrito (dos Santos, 2015).

1.3 Tratamento Duplex

Tratamentos duplex correspondem à aplicação sequencial de duas ou mais tecnologias superficiais estabelecidas para a produção de um compósito, com propriedades inatingíveis quando da aplicação individual. Há duas principais classes: na primeira, dois processos individuais se complementam e o resultado final é função dos dois. A nitretação a plasma seguida da deposição de revestimentos é um exemplo típico. A segunda classe são processos onde um suplementa ou reforça o outro e o resultado é relacionado majoritariamente a um deles (Bell, Dong, & Sun, 1998).

1.4 Ensaio de Dobramento sob Tensão

O ensaio de Dobramento sob Tensão consiste em dobrar uma tira de chapa através de um pino de raio pré-determinado e sobre esse pino fazer a chapa deslizar. Para isso, há a aplicação de uma força (F_2) em uma das extremidades da chapa para que haja o movimento relativo entre a chapa e pino. Na outra extremidade é aplicada uma força (F_1) contrária ao movimento com o objetivo de tencionar a chapa e poder-se variar a pressão de contato incidente sobre o pino (Folle, 2012). Um desenho esquemático pode ser visto na Fig. (1).

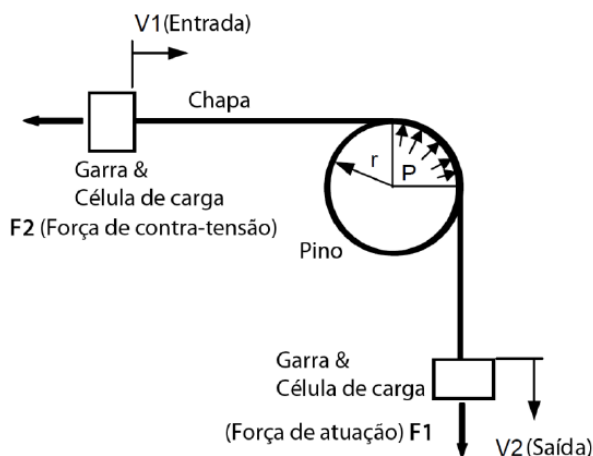


Figura 1. Figura esquemática do ensaio DST. (Folle, 2012)

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Material

As chapas utilizadas para a realização do ensaio foram de aço inoxidável AISI 304, amplamente utilizado na fabricação de válvulas, tubos, recipientes, equipamentos hospitalares e farmacêuticos. É indicado para a fabricação de peças que devem resistir ao ataque de um grande número de substâncias corrosivas, tais como o ácido nítrico, soluções alcalinas, soluções salinas, etc. Sua composição química é apresentada na Tab. (1), conforme o site da empresa Favorit.

Tabela 1. Composição aço AISI 304 - percentual em massa.

Elemento de Liga	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	N
Composição (% em massa)	0,08	2,00	0,045	0,030	0,75	8,0 - 10,5	18,0 - 20,0	0,1

Os pinos foram fabricados com o aço DIN X100CrMoV8-1- 1, conhecido comercialmente como Cryodur 2990. Esse aço é uma tentativa de atingir propriedades intermediárias entre os grupos A e D de aços ferramenta, com a combinação de alta dureza e alta tenacidade. De fato, a presença de baixo carbono, tal qual no grupo A, confere a tenacidade e uma elevada presença de cromo, ainda que menor do que nos aços do grupo D, confere a dureza. O balanço destas propriedades também é obtido pelo controle preciso da microestrutura, ao se obter pequeno tamanho de carbonetos e de uma estrutura homogênea, sem bandeamento (dos Santos, 2015).

Tabela 2. Composição Aço DIN X100CrMoV8-1- 1

Elemento de liga	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Fe
Composição (% em massa)	1,00	0,95	0,40	0,01	0,001	7,90	0,96	0,17	1,55	87,059

Os lubrificantes utilizados nos ensaios foram os DesmoldMax DCP-35S e DesmoldMax DCP-35, da marca Clarus.

2.2. Procedimento Experimental

Para a realização dos ensaios, foram cortadas chapas de aço inoxidável AISI 304 de 1mm de espessura, 20mm de largura e 600mm de comprimento. Também foram confeccionados 3 pinos, um para ser nitretado por plasma, outro por ser tratado pelo tratamento de revestimento com TiCN e um último sem tratamento, apenas polido. Os pinos foram usinados a partir de barras aço DIN X100CrMoV8-1- 1, passando em seguida pelo tratamento térmico de têmpera e triplo revenido a 525°C, obtendo-se um valor médio de dureza de 58HRC. Os pinos tiveram a superfície do seu diâmetro menor (13mm), a qual é a região útil para ensaio DST, lixadas com lixa mesh 600 e 1000 e depois polidas com pasta de diamante de 3µm e 1µm.

Após os pinos foram tratados pelos respectivos processos e realizados os ensaios de Dobramento Sob Tensão para obter um valor de coeficiente de atrito quando uma chapa de aço inox é conformada sobre o raio do pino com tratamentos citados.



Figura 2. Pino polido, pino nitretado e pino com TiCN.

2.2.1 Nitretação a Plasma e Revestimento

O tratamento superficial de nitretação à plasma foi realizado em um forno localizado no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Após o posicionamento das amostras no forno realizou-se para cada uma das nitretações, vácuo na câmara até uma pressão base de 6×10^{-2} mbar. Após isso, foi introduzido o gás hidrogênio até que a pressão alcançasse 2 mbar. Executou-se um “sputtering” nas amostras durante 30 minutos com a finalidade de que qualquer impureza fosse eliminada. Sendo depois substituído o hidrogênio de forma gradual pelo gás argônio para o aquecimento das amostras até a temperatura de 450°C. Alcançada essa temperatura, é dado início à nitretação propriamente dita após a substituição do gás de aquecimento pela mistura de gases nitrogênio e hidrogênio na seguinte proporção: 5%N₂ e 95%H₂. Após as nitretações, todas as amostras foram resfriadas lentamente dentro da câmara até a temperatura de 60°C para evitar que diferentes fases fossem formadas na zona de difusão com taxas de resfriamento elevadas.

A Tab. (3) mostra os parâmetros utilizados para a realização do tratamento de nitretação com tempo de 5 horas.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados nos processos de nitretação a plasma.

Etapas	Bombeamento	Sputtering	Aquecimento	Nitretação	Resfriamento
Pressão	Até 0,05 mbar	1 mbar	4 mbar	4 mbar	0,05 mbar
Gás	Nenhum	Hidrogênio	Argônio	5% N + 95% H	Nenhum
Temperatura	Ambiente	Aprox. 200°C	450°C	450°C	Até temp. ambiente
Tempo	Até pressão de 0,05 mbar	30 min.	Até temp. de 450°C	5 h	Aprox. 3 h

A nitretação a plasma foi realizada em parte das amostras para a confecção de substratos para posterior obtenção de superfícies com tratamentos duplex. O tratamento duplex foi realizado após o tratamento de nitretação a plasma adicionando um revestimento de TiCN, conforme os parâmetros citados na Tab. (4).

Tabela 4 – Parâmetros utilizados nos processos de deposição de revestimentos.

Etapas	Bombeamento	Aquecimento e Pulverização	Deposição	Resfriamento
Pressão	Até 10^{-6} mbar	0,5 mbar	0,02 a 0,03 mbar	300 mbar
Gás	Nenhum	Ar + H	Acetileno + N + Ar	Nitrogênio
Temperatura	Ambiente	450°C	450°C	Até temperatura ambiente
Tempo	Até 10^{-6} mbar	60 min.	38 min	Aprox. 2 horas
Bias	-	-	-50 V a -250 V	-

2.2.2 Ensaio Dobramento Sob Tensão

Para a obtenção dos coeficientes de atrito, foi realizado o ensaio DST utilizando-se os pinos tratados e as chapas de aço inoxidável AISI 304. Assim, foram testados os dois lubrificantes nas três situações: pino polido, pino nitretado e pino com o tratamento TiCN. Nas Fig. (3) e (4), pode-se visualizar o equipamento utilizado durante o ensaio.



Figura 3. Máquina usada para o ensaio DST (Folle, 2012).



Figura 4. Componentes da máquina para DST (Folle, 2012).

Através de um software de aquisição de dados, o ensaio de dobramento sob tensão fornece dados de torque, força de atuação dos dois cilindros e através da célula de carga posicionada sob o suporte do pino, a força normal. Assim, pode-se calcular o coeficiente de atrito em razão do tempo através da Eq. (1).

$$\mu = \frac{4T}{\pi R(F_1 + F_2)} \quad (1)$$

Onde,

T = Torque

F₁ e F₂ = Forças nas garras

R = Raio do pino

3. RESULTADOS

Com os dados dos ensaios compilados em forma de gráficos pôde-se comparar os resultados encontrados. Primeiramente, analisaram-se separadamente os gráficos com as curvas de coeficiente de atrito dos pinos utilizados. Assim, pode-se concluir para cada tratamento qual o lubrificante que apresentará os menores coeficientes de atrito.

Para o pino polido Fig. (5) nota-se que sem lubrificante (a seco), obtiveram-se coeficientes em torno de 0,15. Já para os ensaios com lubrificantes, houve uma diminuição significativa dos coeficientes, em torno de 0,1 para o DeslmdMax 35S e coeficiente de 0,05 para o DeslmdMax 35.

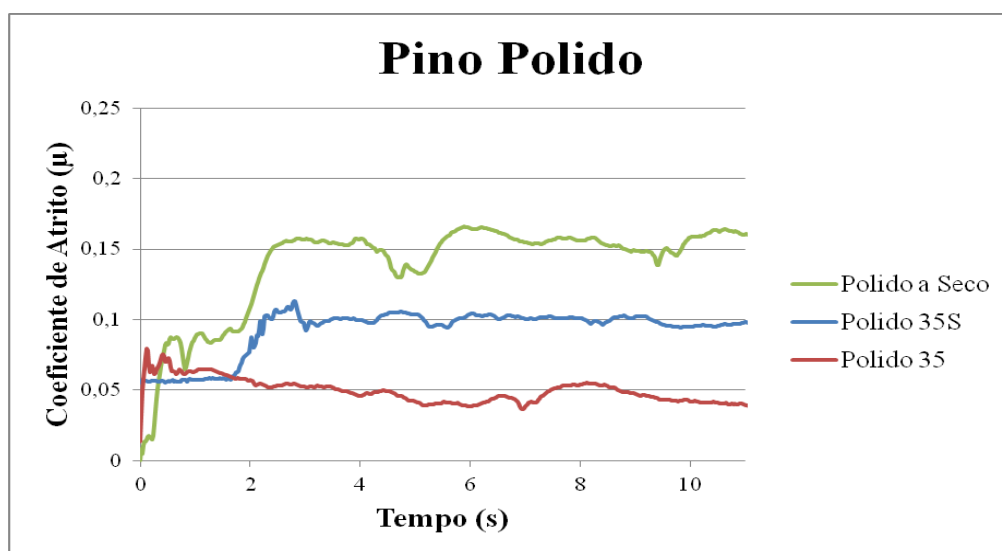


Figura 5. Curvas do coeficiente de atrito com o pino polido.

Quando analisados os ensaios para o pino nitretado Fig. (6), também se percebe que o ensaio sem lubrificante apresentou maiores coeficientes de atrito (entre 0,18 a 0,2). Já nos ensaios com o pino lubrificado, os resultados foram semelhantes, com os dois coeficientes de atrito em torno de 0,08, com o ensaio com pino lubrificado com DeslmdMax 35S com um valor levemente maior.

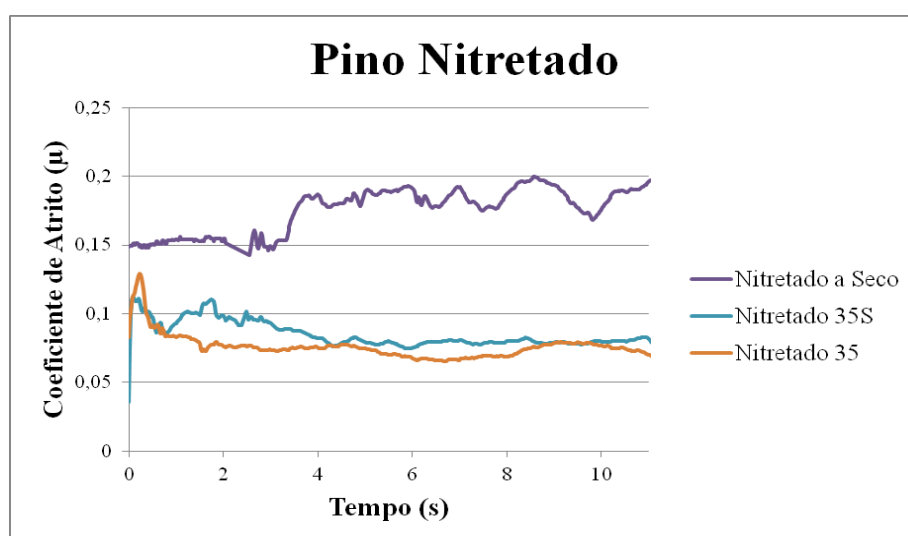


Figura 6. Curvas do coeficiente de atrito com o pino nitretado.

O dados obtidos para o pino com o tratamento Duplex (Nitretado + TiCN) pode ser visto na Fig. (7). Nele é possível observar um comportamento semelhante ao do pino polido, porém com valores médios mais elevados de coeficiente de atrito. Assim, também nota-se que o ensaio sem lubrificante apresentou um coeficiente mais elevado (em torno de 0,2). Já os ensaios com lubrificação apresentaram coeficientes bem menores. O ensaio com o DesmoldMax 35S alcançou valores em torno de 0,12, enquanto o DesmoldMax 35 foi de 0,08.

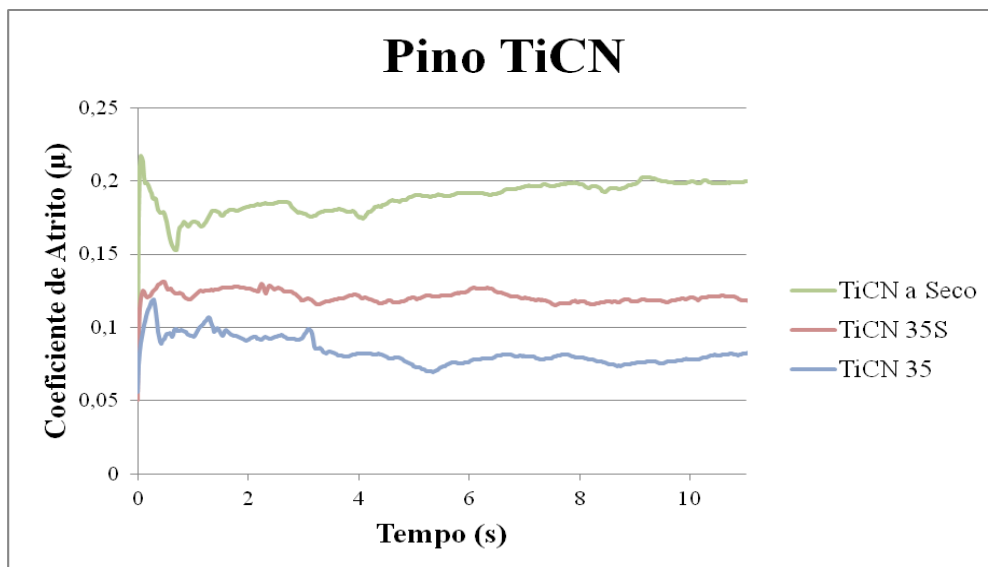


Figura 7. Curvas do coeficiente de atrito com o pino com TiCN.

Analisando os gráficos da Fig (8) e da Fig. (9), podemos notar a influência dos tratamentos nos pinos em relação a variação do coeficiente de atrito para cada lubrificante. Para o DesmoldMax 35 Fig. (8) nota-se que o pino polido apresentou melhores resultados quanto ao coeficiente de atrito, em torno de 0,05. Em segundo foi o pino com tratamento nitretado com valores de 0,07. Já o TiCN apresentou os piores resultados, obtendo coeficientes em torno de 0,08.

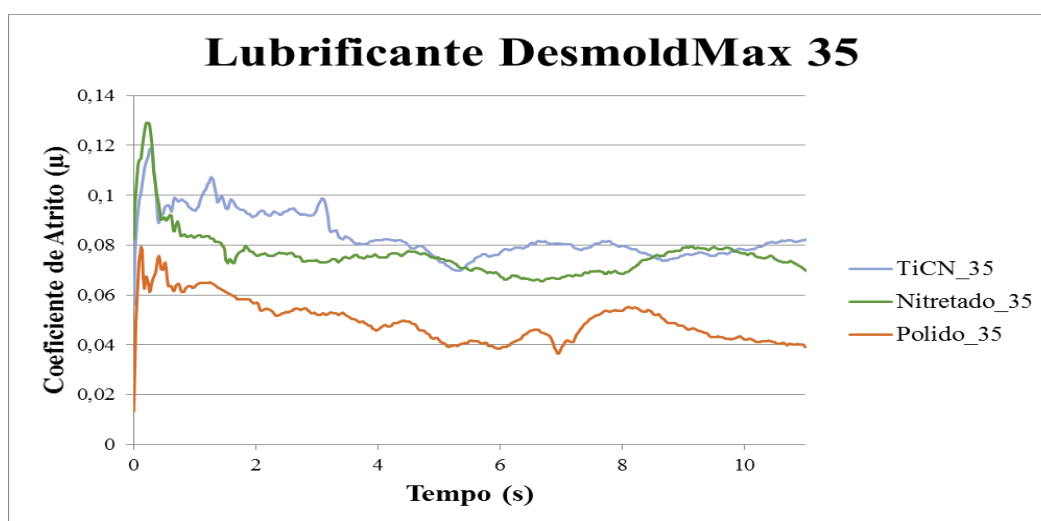


Figura 8. Curvas do coeficiente de atrito com o lubrificante DesmoldMax 35.

Na Fig. (9) vemos os resultados para o lubrificante DesmoldMax 35S. Novamente os ensaios com o pino com o revestimento de TiCN apresentaram os piores resultados, com coeficiente de atrito no valor de 0,12. Quanto ao polido, apresentou valores em torno de 0,1 e o nitretado de 0,08.

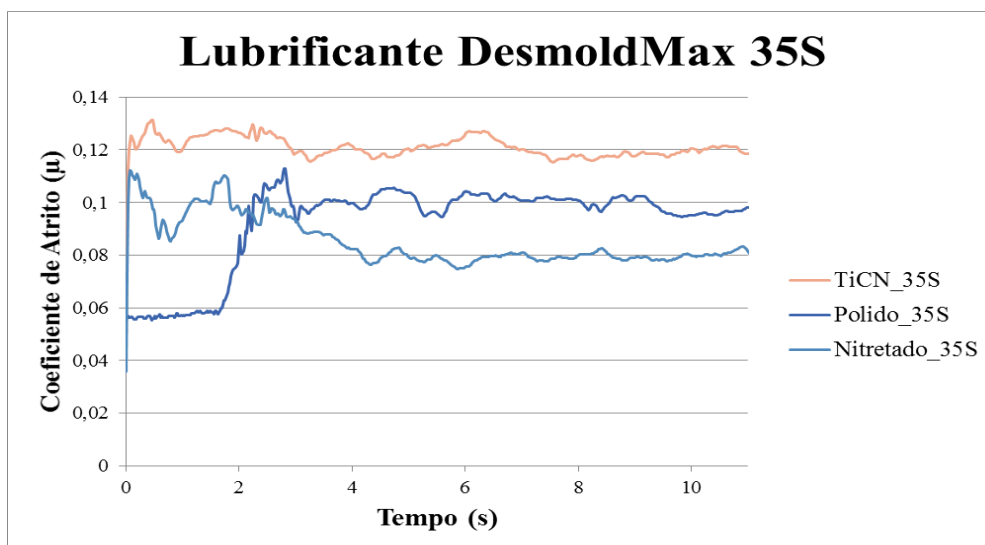


Figura 9. Curvas do coeficiente de atrito com o lubrificante DesmoldMax 35S.

Nos ensaios sem lubrificação Fig. (10) nota-se os maiores valores de coeficiente de atrito entre todos os ensaios realizados. Novamente o TiCN apresentou os piores resultados, com um coeficiente de atrito em torno de 0,2. O ensaio com pino nitretado apresentou resultados entre 0,18 e 0,2. Já o pino polido teve um coeficiente de atrito em torno de 0,15.

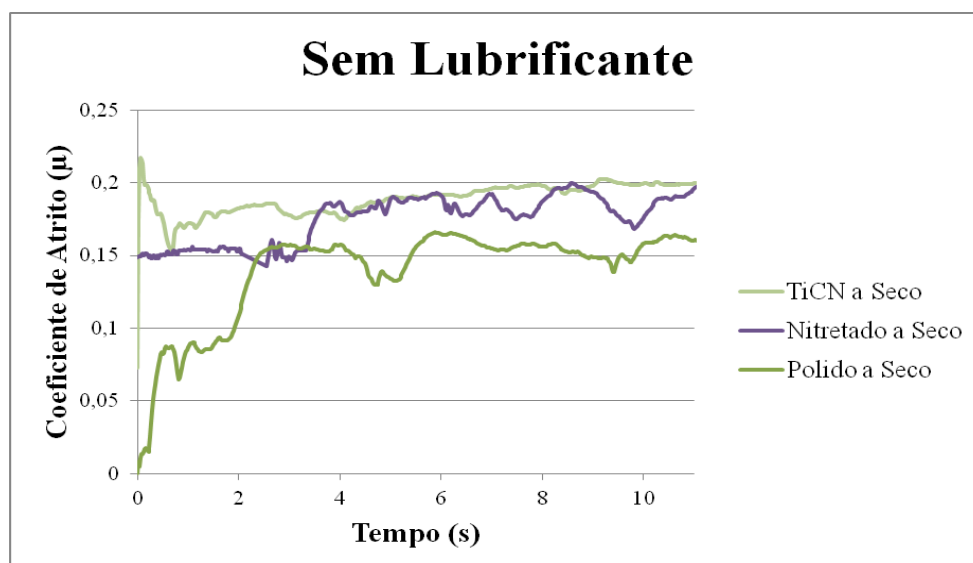


Figura 10. Curvas do coeficiente de atrito sem lubrificante.

Por fim, podemos analisar na Fig. (11) as curvas de coeficiente e atrito de todos os ensaios realizados, onde observa-se que o ensaio que apresentou o menor coeficiente de atrito entre todos foi com pino polido e o lubrificante Desmoldax 35. Já o maior coeficiente de atrito obtido foi o realizado com o pino com TiCN a seco.

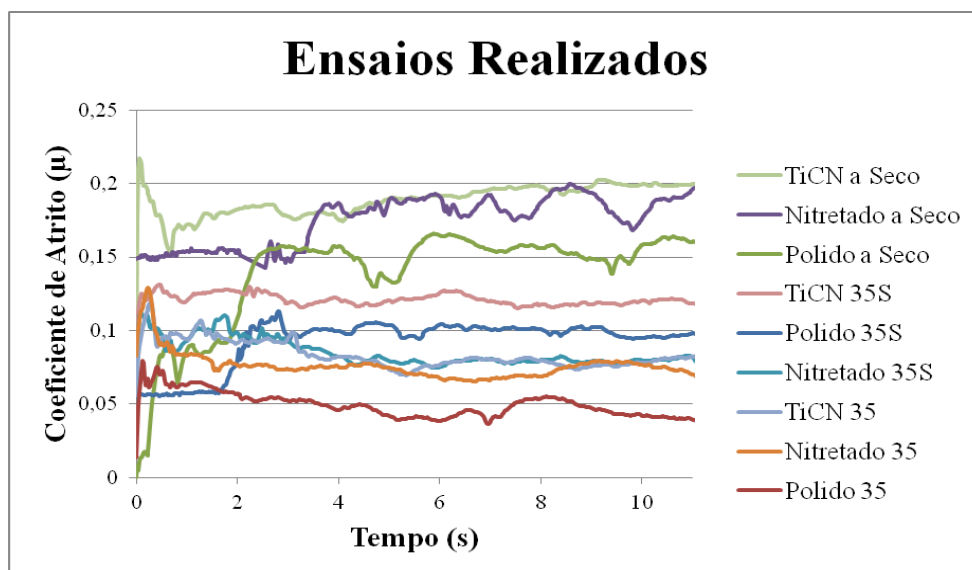


Figura 11. Curvas do coeficiente de atrito de todos os ensaios.

4. CONCLUSÕES

Através dos ensaios realizados e da análise dos gráficos das curvas de coeficiente de atrito em função do tempo, podemos chegar a algumas conclusões: como era esperado, os ensaios realizados sem lubrificação apresentaram os piores resultados, possuindo os maiores coeficientes de atrito. Nos ensaios lubrificados, podemos afirmar que o lubrificante DesmoldMax 35 apresentou um melhor resultado se comparado com o lubrificante DesmoldMax 35S, pois em todos os tipos de pinos o coeficiente de atrito foi menor.

Na comparação entre os tratamentos realizados, o pino com TiCN apresentou os maiores coeficientes de atrito. Esse resultado obtido demonstra que esse tratamento além de possuir a nitretação a plasma, que aumenta a rugosidade da superfície, ainda possui um revestimento, o que resulta em uma rugosidade aumentada. Ou seja, o revestimento de TiCN não é capaz de corrigir a rugosidade gerada pelo tratamento de plasma, fazendo com que essa rugosidade seja aumentada.

Podemos analisar também que no geral o pino polido obteve os menores resultados de coeficiente de atrito, sendo que apenas no ensaio lubrificado com o DesmoldMax 35S o pino nitretado apresentou valores menores. Esse resultado do pino polido ser menor também era esperado, justamente pelo fato do polimento corrigir os problemas de rugosidade superficial do material.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pelo auxílio da bolsa de mestrado e ao CNPq o apoio no âmbito do Processo 311348/2015-7. Os autores agradecem a Fundação Luiz Englert pelo fornecimento dos lubrificantes.

6. REFERÊNCIAS

- <http://www.favorit.com.br/produtos/acos-inoxidaveis/aco-aisi-304-aisi-304-l>
- Bell, T., Sun Y. "Load bearing capacity of plasma nitrided steel under rollingsliding contact." Surface Engineering, 1990: 133-139.
- Dos Santos, G. R. "Caracterização e Avaliação do Comportamento Tribológico do Aço DIN X100CrMoV8-1- 1 com Tratamento Duplex". Tese de Doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015, 169p.
- Filho, A.N., Braz, D.C., 2015, "Estudo da influência dos padrões de emissão das espécies do plasma de carbonitretação nas propriedades superficiais do TiCN", Revista Matéria, V.20 N.01.
- Folle, L.F. "Estudo do Coeficiente de Atrito para Processos de Estampagem". Tese de Doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012, 131p.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TiCN COATING AND NITRIDING IN THE FRICTION COEFFICIENT DETERMINED BY THE BENDING UNDER TENSION TEST

Juliano Boeira Ercolani, julianoercolani@ufrgs.br¹
Gabriel Grazziotin, ggabrielgrazziotin@gmail.com¹
Luciano Aparecido Kempinski, luciano.kempinski@erechim.irs.edu.br²
Giovanni Rocha dos Santos, giovanni.santos@senairs.org.br³
Alexandre da Silva Rocha, alexandre.rocha@ufrgs.br¹

¹Univesidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 9500, Prédio 43807 - Centro de Tecnologia. Bairro Agronomia. 91509-900. Porto Alegre - RS.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RS, Rua Domingos Zanella, 104 – Erechim, RS. CEP 99700-000

³SENAI, Rio Grande do Sul, Av. Assis Brasil, 8787, Porto Alegre/RS.

Abstract: Knowing that friction is the main cause of failures in metal forming processes, the application of coatings in forming tools aims to increase material's useful life. With that, this study has as main objective evaluate the influence of TiCN (Titanium Carbonitride) coating and nitriding applied to the tool in a metal sheet forming process with a stainless steel AISI 304, simulated by the Bending Under Tension Test (BUT). On this test, the part that received the coating and the nitriding was the pin, which represents the radius of the die while the sheet moves over its surface. Two different lubricants were used for each condition of the pin: nitrided, TiCN coating and the original condition of the pin with no coating, only with polishing. After the results, the tests with lubrication had a much smaller friction coefficient than the dry tests. Plus, when comparing the friction of each surface condition, the pin with polishing had better results, with the lowest friction coefficient, while TiCN coating had the highest.

Key Words: Friction, Coating, Lubrication, Nitriding, TiCN.