

CARACTERIZAÇÃO DA FURAÇÃO CONVENCIONAL E POR ESCOAMENTO NO AÇO LN 700

CHARACTERIZATION OF A CONVENTIONAL DRILLING PROCESS AND FLOW DRILLING IN LN 700 STEEL

Ademilson Setti¹, Mateus Simionato², Rubens Meneguzzi³, Charles Israel⁴

Universidade de Passo Fundo. E-mail: 82068@upf.br

Universidade de Passo Fundo, 84369@upf.br

Universidade de Passo Fundo, 133160@upf.br

Universidade de Passo Fundo, israel@upf.br

RESUMO

Este estudo busca avaliar o impacto causado em um aço de alta resistência chamado LN 700 utilizando dois processos de furação distintos, sendo furação convencional e furação por escoamento submetidos ao processo de rosqueamento. Para isso alguns parâmetros foram monitorados, dentre eles, microestrutura, microdureza, resistência à tração, vida em fadiga. Dados obtidos durante o estudo mostram a influência positiva da rebarba oriunda do processo de furação por escoamento. Ao analisar-se a vida em fadiga do material, constata-se que a furação por escoamento possui um número de ciclos maior do que a furação convencional. Portanto nota-se alguns benefícios da rebarba do processo de furação por escoamento.

Palavras-chaves: Dureza, aço ARBL, *push-pull*, experimental, Ferrita de Widmanstatten

ABSTRACT

This study aims to evaluate the impact caused in a high strength steel called LN 700 using two different drilling process, being conventional drilling and flow drilling submitted to the threading process (flow tapping process). Thereunto, some parameters were monitored, such as, microstructure, microhardness, tensile strength and fatigue life. The data obtained during this study show the positive influence of the burr from the flow drilling process. When analyzed the fatigue life of the material, it's verified that flow drilling bear a greater number of cycles than the conventional drilling process. Therefore, is noted some benefits from burr in the flow drilling process.

Keywords: Hardness, steel ARBL, push-pull, experimental, Widmanstatten's Ferrite

1. INTRODUÇÃO

A furação por escoamento é um processo de fabricação caracterizado pela criação de um furo e uma bucha escoada através do atrito da ferramenta com a peça. Para a furação é utilizada uma ferramenta de geometria definida pela dimensão do furo a ser obtida, onde o material deve apresentar alta resistência ao desgaste e calor. A ferramenta gira sobre a peça promovendo o aquecimento do material na região de trabalho, permitindo que ocorra a deformação plástica através do movimento de rotação e avanço. Conforme descreve Nardi (2012), a aplicação deste processo de furação compõe uma alternativa para substituição de elementos de fixação como porcas soldadas em perfis estruturais, parafusos passantes e rebites, onde os acessos a peças de perfis tubulares ou geometrias complexas dificultam a fixação de componentes, justificando a aplicação em chapas finas.

Para Matysiak e Bernat (2015) a rebarba é importante no processo, sendo influenciada pela plasticidade e pelas propriedades termo físicas dos materiais. Krasaukas (2011) realizou o processo com chapas de aço S235 laminado a quente, bem como inox AISI 430 e de liga de alumínio AI 5652 concluindo que a força aplicada na furação foi consideravelmente afetada devido à espessura da

chapa. Pasinato (2015), caracterizou o processo a seco de furação por escoamento do aço LN700, avaliando microdurezas, rugosidades, circularidade e cilindridade dos diâmetros dos furos.

Conforme relata Pasinato (2015), a comparação ao processo de furação por escoamento pode ser considerada inovadora em relação ao processo convencional, pois permite ser feita em materiais de diferentes composições, como aço, aço inoxidável, alumínio, ferro fundido. Em materiais especiais como ARBL LN 700, a furação por escoamento pode ser aplicada como alternativa, mas deve haver uma avaliação do comportamento de sua microestrutura e sua vida em fadiga, pois é um material que apresenta recristalização quando submetido à mudança de temperatura. Chunguo (2011) relatou que os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) são conhecidos pela sua resistência mecânica e pelo baixo teor de carbono apresentando excelente tenacidade ao entalhe e soldabilidade (1).

Neste trabalho, realizou-se a avaliação do processo de furação convencional e por escoamento, aplicando posteriormente o processo de rosqueamento. Avaliou-se a microestrutura, microdureza, resistência à tração, vida em fadiga dos dois processos no aço LN 700 após as furações a seco. Posteriormente foi avaliado a influência nas propriedades mecânicas da rebarba gerada no processo de furação por escoamento. Os ensaios de furação foram realizados em centro de usinagem operado por comando numérico computadorizado (CNC) onde os parâmetros usados para a furação foram os mesmos para todas as situações.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento consistiu no uso de chapas de aço de alta resistência e baixa liga da serie Usiminas LN 700 com espessura de 4,25mm. A composição química e as propriedades mecânicas do material são mostrados na Tabela 1 e 2 respectivamente. As propriedades mecânicas do Aço LN 700 foram obtidas através de Policena et al (2017). Os corpos de provas foram confeccionados com as medidas e o formato mostrados na Figura 1, orientados pela norma ASTM E466.

No processo de furação convencional foi utilizada uma broca helicoidal de aço rápido (A) com diâmetro 11 mm e posteriormente o processo de usinagem da rosca com macho M12x1,5 mm (B), já na furação por escoamento foi utilizado uma ferramenta de metal duro UK 40, com revestimento de nitreto de titânio de diâmetro de 11mm (C) conforme mostra a Figura 2.

Tabela 1-Composição medida para o Aço LN 700

Grau	C	Si	P	S	Al	Nb	V	Ti	Mo	B
Peso (%)	0,11	0,04	0,027	0,007	0,07	0,48	0,005	0,14	0,003	0,001

Fonte: Policena et al (2017)

Tabela 2-Propriedades mecânicas

Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
792	808	13

Fonte: Policena et al (2017)

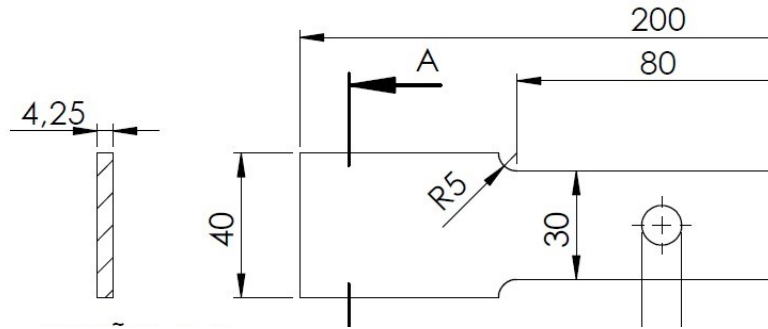


Figura 1 - Desenho e medidas dos corpos de provas utilizados nos ensaios de furação convencional e por fricção

Fonte: Autores

Para a realização dos procedimentos de furação convencional, escoamento e rosqueamento foi utilizado um centro de usinagem operado por comando numérico computadorizado (CNC) onde os parâmetros usados para a furação foram os mesmos para todas as situações, sendo a velocidade de trabalho de 850 rpm e o avanço das ferramentas de 120 mm/min, para garantir que as condições de operação não interfiram no resultado.

Realizaram-se ensaios de tração nos corpos de prova fabricados pelos processos de furação, para caracterizar as propriedades mecânicas do material. Os ensaios dividiram-se em 4 modelos de corpos de provas, sendo ensaiados 3 repetições cada. Os corpos ficaram divididos nas categorias: furação convencional com rosca; furação por escoamento sem rosca; furação por escoamento com rosca e furação por escoamento com rosca sem a rebarba escoada.

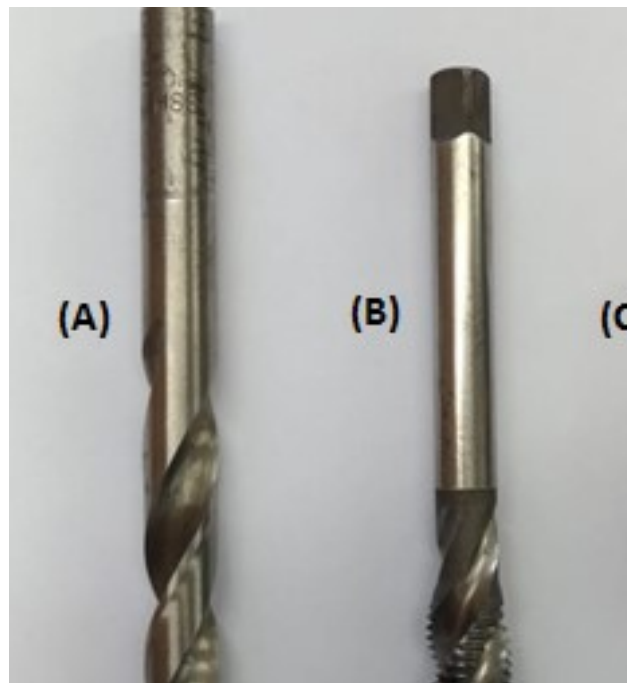


Figura 2 - Ferramentas utilizadas nos ensaios; (A) furação convencional, (B) Ferramenta de rosqueamento, (C) Furação por fricção. Fonte: Autores

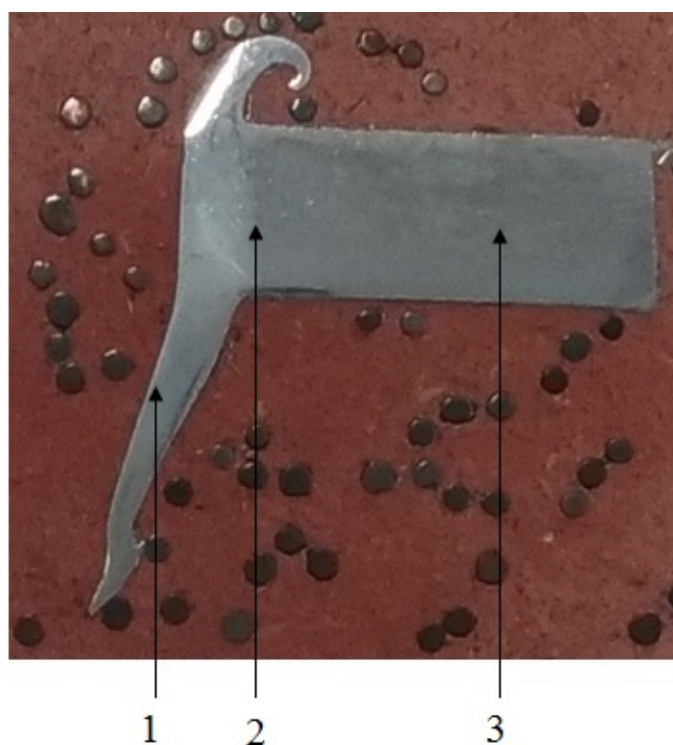


Figura 3 – Regiões Micrografia do processo por fricção. Fonte: Autores

O ensaio de micrografia foi realizado avaliando-se a recristalização do material na região termicamente afetada pelo processo de furação por escoamento, onde analisou-se as regiões da borda do furo/rosca (1), a região de transição entre a borda e o material base (2) e o metal base (3). As regiões estão apresentadas na Figura 3.

Nas mesmas regiões identificadas na Figura 3 examinou-se a dureza do material, através do ensaio de microdureza realizado com carga de 0,5 kgf na escala Vickers. Obteve-se os resultados através de uma amostragem de 3 medições em cada região, considerando os corpos de prova obtidos nos processos de furação por escoamento e furação convencional.

Ensaio de fadiga realizaram-se em 12 corpos de provas oriundos de cada processo de furação, sendo submetidos a cargas cíclicas para verificar e comparar a resistência a fadiga do material submetidos a tais condições. Foi realizado testes em 3 corpos de prova pelo processo de furação convencional e rosqueamento, 3 corpos de prova pelo processo de furação por escoamento e rosqueamento, 3 corpos de prova pelo processo de furação por escoamento e rosqueamento sem borda e 3 corpos por furação por escoamento sem rosca. Os ensaios foram realizados em uma máquina do tipo “*push-pull*”, em que foi estabelecida uma frequência de 5 Hz e 80% da tensão de escoamento para determinar a carga trativa máxima, que foi de 48,23 kN.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 mostra os resultados de microdureza obtidos nas regiões descritas anteriormente. A tabela apresenta os valores para a furação convencional com rosca e da furação por escoamento com rosca.

Após análise dos resultados obtidos, constata-se que houve uma redução da microdureza na região da borda do furo/rosca pelo processo de furação por escoamento se comparado ao metal base. Na furação convencional, como esperado, não houve alteração significativa da propriedade.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de microdureza

Furação Convencional/Rosca	Durezas (HV 0.5)			Média (HV 0.5)	S
Borda do Furo/Rosca	306	292	297	298,33	7,09
Metal Base	304	303	301	302,67	1,53
Furação por Escoamento/Rosca	Durezas (HV 0.5)			Média (HV 0.5)	S
Borda do Furo/Rosca	257	252	252	253,67	2,89
Transição	298	277	261	278,67	18,56
Metal Base	297	288	276	287,00	10,54

Fonte: Autores

Para a avaliação da microestrutura do material realizou-se as análises de micrografia nas regiões descritas na Figura 3, onde podemos observar a microestrutura das 3 regiões dispostas para análise na Figura 4. A região (1) é a região da bucha escoada ou borda do furo, a microestrutura do material é alterada, a ferrita encontra-se alongada, em maior concentração, com características de ferrita de Widmanstätten. Esta estrutura é obtida pela alta temperatura em função do calor durante o processo de transformação. Em condições onde o resfriamento é mais rápido, permite a formação de ferrita intergranular, e coerente com o apresentado por Colpaert (2008). Na região (2), apresenta uma parte de transição entre o metal base e o material a ser escoado que irá formar a bucha escoada. A ação da temperatura durante a furação altera a microestrutura diferenciando a região de transição, a ferrita apresenta forma alongada em maior concentração. A região (3) do material, é a região do material base, não sofre alteração de microestrutura. É possível verificar uma concentração de bainita e ferrita, onde a ferrita está disposta por pontos e regiões ao longo da amostra.

No ensaio de tração buscou-se a identificação da tensão de escoamento e ruptura, e o alongamento do material. A Tabela 4 apresenta-se os resultados obtidos nos ensaios, considerando suas médias e desvios padrão.

Observa-se na Tabela 4 que os processos de furação por escoamento com e sem rosca apresentaram valores próximos tanto para a carga de escoamento, quanto para a carga de ruptura. Observa-se também que o processo por furação convencional com rosca apresentou valores menores que os processos por escoamento. Analisou-se também a influência da retirada da borda no processo de furação por escoamento, que reduziu suas cargas de escoamento e ruptura para valores próximos dos encontrados na furação convencional.

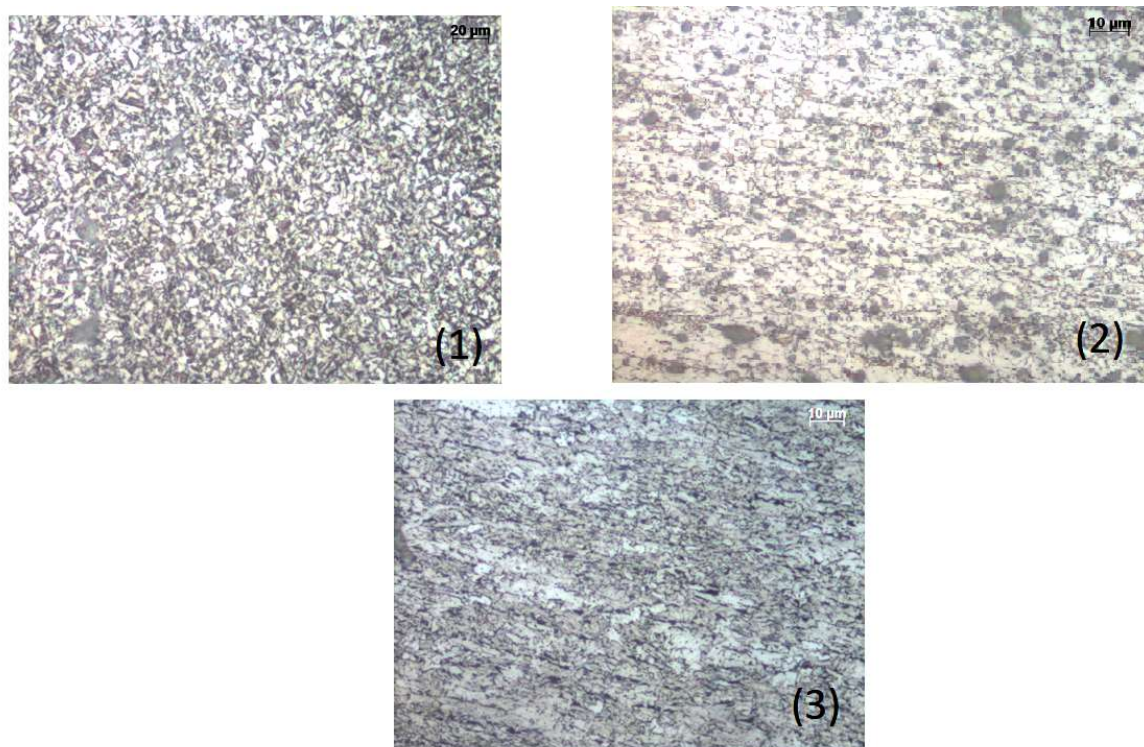


Figura 4 - Análise micrográfica; (1) Borda do furo; (2) Região de transição; (3) Metal base.Fonte: Autores

Tabela 4 - Resultados obtidos nos ensaios de tração

MÉDIAS	CARGA DE ESCOAMENTO (kN)	S	CARGA DE RUPTURA (kN)	S	ALONGAMENTO FINAL (%)	S
Furação Convencional com Rosca	65,59	4,60	67,86	2,59	4,46	0,41
Furação por escoamento com Rosca	70,23	12,91	80,74	0,77	6,50	0,39
Furação por escoamento sem Rosca	75,16	0,05	79,63	1,03	6,03	0,42
Furação por Escoamento com Rosca e Retirado a borda	55,13	6,09	69,27	0,89	5,54	0,19

Fonte: Autores

Os resultados obtidos nos ensaios de fadiga são apresentados na Tabela 5. Na mesa tabela é apresentada a quantidade de ciclos que cada corpo de prova suportou, a média obtida de cada modelo de corpo de prova, assim como o desvio padrão.

Tabela 5 - Resultado dos Ensaio de Fadiga.

Vida em Fadiga			
Carga	48,23 kN	Frequência	5 Hz
Corpo de Prova	Nº. de Ciclos	Média (ciclos)	Desvio Padrão
Furação Convencional 1	7859	7318,3	563,2
Furação Convencional 2	6735		
Furação Convencional 3	7361		
Escoamento com Rosca 1	23926	22111,3	2569,6
Escoamento com Rosca 2	19171		
Escoamento com Rosca 3	23237		
Escoamento sem Rosca 1	33175	33505,0	4840,4
Escoamento sem Rosca 2	38502		
Escoamento sem Rosca 3	28838		
Escoamento sem Borda 1	8239	8036,0	486,4
Escoamento sem Borda 2	7481		
Escoamento sem Borda 3	8388		

Fonte: Autores

Como pode ser observado na Tabela 5, os corpos de prova submetidos a furação por escoamento com rosca apresentaram números de ciclos cerca de 3 vezes maiores dos que os apresentados pela furação convencional com rosca. Já os valores da furação por escoamento sem a rosca apresentara valores ainda maiores. Quando retirada a rebarba na furação por escoamento com rosca, os valores de vida em fadiga apresentaram redução, ficando com valores próximos ao da furação convencional com rosca.

4. CONCLUSÃO

Através do estudo realizado constatou-se que a microdureza diminui na região da borda do furo no processo de furação por escoamento. A região analisada em micrografia na borda do furo pelo processo de furação por escoamento observou-se a formação de ferrita de Widmanstatten ao qual possui dureza menor que a bainita do metal base.

No ensaio de tração observou-se um aumento da resistência a tração dos corpos de prova feitos com furação por escoamento com e sem rosca, comparados aos corpos de prova com furação convencional e rosca. Já quando retirada a rebarba da borda dos corpos de prova de escoamento a resistência a tração encontrada foi muito próxima a dos corpos de prova com furação convencional. Conclui-se que a rebarba originada no processo de furação por escoamento influencia positivamente na resistência a tração, já o material escoado sem a rebarba se comporta semelhante ao material usinado convencionalmente.

Em fadiga o corpo de prova submetido ao processo de furação por escoamento onde usinou-se a rosca, apresentou resultados expressivos quando comparado ao processo de furação normal. Isso deve ao fato do mesmo apresentar o rebarba da borda superior, efeito oriundo da furação por

escoamento. Esse ganho no número de ciclos pode estar associado a maior seção do material no corpo de prova.

Por fim percebe-se que a rebarba advinda do processo de furação por escoamento apresenta benefícios importantes para as propriedades mecânicas do material. Já que quando estudado o corpo de prova sem a rebarba aprestou propriedades mecânicas similares ao processo de furação convencional.

5 REFERÊNCIAS

- COLPAERT, Hubertus. *Metalografia dos processos siderúrgicos comuns*. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- CHUNGUO, Z., Stefan V. D.V., Xiaozhi, H., Pengmin, L.: Fatigue crack growth behavior in weld-repaired high-strength low-alloy steel. *Engineering Fracture Mechanics*, v. 78, n.9, p. 1862-1875, 2011.
- KRASAUSKAS, P.: Experimental and statistical investigation of thermo-mechanical friction drilling process. *Mechanika*, v 17, n. 6, p. 681-686, 2011.
- MATYSIAK, W., Bernart, L.: Shaping the edges using flowdrill technology. *Metallurgia*, v. 54, n. 1, p. 235-238, 2015.
- NARDI, D., Lacalle, N.L., Lamikiz, A.: Taladro por fricción em aceros de doble fase. *Revista Metallurgia*, v. 48, n 1, p. 13-23, 2012.
- PASINATO, Rogério. *CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE FURAÇÃO POR FRICÇÃO O AÇO LN 700*. 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2015.
- POLICENA, M. R. et al. Os efeitos da furação convencional e por escoamento em chapas de aço. *Corte e Conformação*, São Paulo, v. 142, p.18-21, fev. 2017. Mensal.