

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

INFLUÊNCIA DA LUBRIFICAÇÃO NO PROCESSO DE TREFILAÇÃO DO AÇO SAE 1020

Daniel de Castro Maciel, danielcastro_bh@yahoo.com.br¹

Diego Raimundi Corradi, diego.corradi@yahoo.com.br²

Gilmar Cordeiro Silva, gilmarcord@gmail.com¹

Norberto Martins, norbertoengmec@gmail.com¹

Daniel Januário Cordeiro Gomes, danieljanuario@yahoo.com.br²

Juan Marcos Santos Dutra, juandutrinha@gmail.com¹

Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, fernandadias.eng@outlook.com¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte MG

²Centro Universitário Una, Av. Afonso Vaz de Melo, 465, Barreiro, Belo Horizonte, MG

Resumo: O processo de trefilação é uma operação mecânica que consiste em redução da área transversal e aumento de comprimento, aplicado em barras e tubos. O aço quando sujeito a solicitações externas, podem apresentar falhas. Nesta situação é importante conhecer as características da microestrutura, como formato e tamanho dos grãos, fases presentes e surgimento de microtrincas. O acabamento superficial resultante do processo, influência de forma significativa no desempenho e operação de componentes mecânicos. As condições de atrito na interface fieira/peça podem levar a formação de defeitos superficiais e internos, bem como tensões residuais e aumento de resistência mecânica devido ao encruamento. Neste trabalho utilizou-se três condições de lubrificação (sólida, líquida, e pastosa), aplicado numa redução de área percentual 18%. Logo este trabalho visa avaliar a influência do tipo de lubrificação no acabamento superficial (rugosidade) e microestrutura do aço SAE 1020 laminados a frio. Assim, será possível determinar qual o lubrificante garante a menor rugosidade às peças trefiladas e qual apresentou maior variação microestrutura.

Palavras-chave: Trefilação, Rugosidade, Microestrutura, Aço SAE 1020

1. INTRODUÇÃO

A trefilação é um processo de fabricação por deformação plástica, que consiste em tracionar o material metálico por meio de força de tração na saída de uma ferramenta cônica (fieira), ocasionando uma redução de área da seção transversal e aumento do comprimento do material trefilado (DIETER, 1988), (CETLIN, 2013), (BRESCIANI, 1997).

Durante o processo de trefilação a frio o material é submetido a elevada deformação plástica que propicia o encruamento e o aumento da sua resistência mecânica. Por outro lado, ocorre perda de ductilidade e o surgimento de tensões residuais. Frequentemente, após o processo, faz-se necessário um tratamento térmico para o alívio de tensões (MORAIS, 2003).

A lubrificação no processo de trefilação exerce grande influência no acabamento superficial e na resistência mecânica da peça trefilada. O atrito e o desgaste da fieira também sofrem alterações de acordo com o tipo e as condições de lubrificação na interface peça/fieira (MARTINEZ, 1998).

O conhecimento das variáveis envolvidas na trefilação é de interesse não somente para as pesquisas de conformação plástica dos materiais metálicos, mas também para a melhoria maior produtividade e redução de custos de manufatura de máquinas e equipamentos.

1.1. Trefilação

A trefilação é um processo de conformação plástica por compressão indireta, pois as forças que efetivamente deformam plasticamente o metal, são desenvolvidas pela reação da matriz sobre a peça, conforme Figura 1. A passagem do fio e/ou barra pela fieira, acontece devido a tração mecânica externa em um processo contínuo.

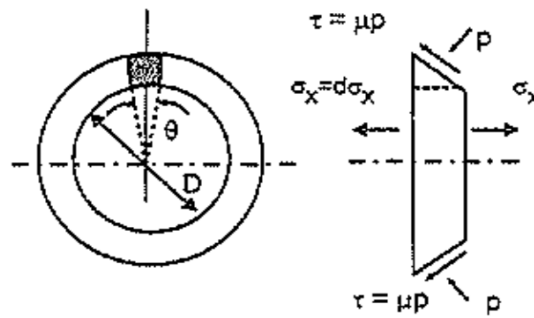


Figura 1. Detalhe das tensões envolvidas no processo de trefilação, de acordo com o método dos blocos de Heman e Cetlin (2013).

- (a) D =Diâmetro médio da peça;
- (b) τ =Tensão de atrito;
- (c) μ =Coeficiente de atrito
- (d) p =Força normal;
- (e) σ_x =Tensão de trefilação;
- (f) θ =Ângulo de redução.

De acordo com Martinez (1998), as matrizes usadas no processo de trefilação, são fabricadas com materiais de alta resistência mecânica e dureza, como Carboneto de Tungstênio, Diamante Industrial e alguns materiais cerâmicos (Óxido de Zircônico, Carboneto de Titânio e Nitreto de Titânio), pois precisam possuir características que permitam trefilar grandes produções sem desgaste acentuados na fiação, onde altas velocidades no processo sejam alcançadas, e que o material trefilado tenha precisão nas dimensões finais.

Conforme Moraes (2003), na maioria dos processos de trefilação, os materiais são conformados à frio, ou seja, abaixo da sua temperatura de recristalização, ocorre o aumento da resistência mecânica do mesmo, (Limite de Escoamento, Limite de Resistência), além de geração de tensões residuais e distorções internas, fazendo com que em muitos materiais, principalmente os mais resistentes, seja necessário um tratamento de alívio de tensões (Recozimento), após cada operação de trefilação. Ainda segundo Moraes (2003) o fenômeno pelo qual a resistência mecânica de um metal aumenta em decorrência de um trabalho à frio, é conhecido como Encruamento. Esse encruamento que ocorre no material trefilado, será proporcional ao grau de redução que o mesmo for submetido, pois maiores serão as deformações redundantes. Também deve-se considerar, que mesmo em casos onde ocorre pequenas reduções durante o processo e a deformação introduzida é menor, maiores serão os componentes de deformação por atrito. A Figura 2 mostra a relação Tensão efetiva vs Semi-ângulo de fiação, onde é possível verificar a predominância do atrito e do alto valor da tensão total em pequenos ângulos de trefilação

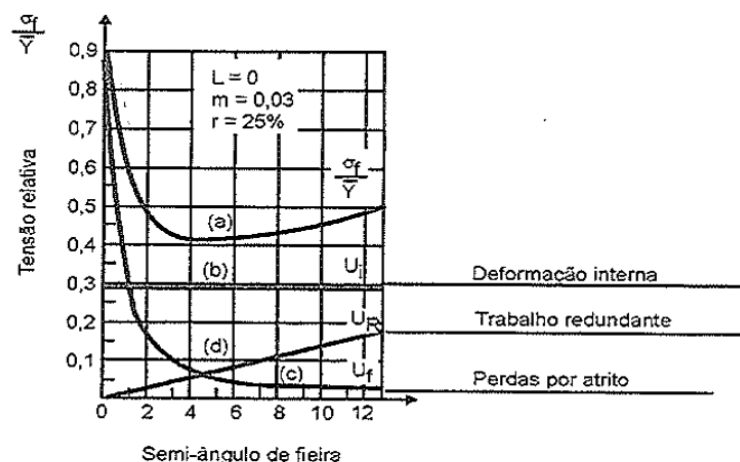


Figura 2. Representação gráfica das energias dissipadas em função do semi-ângulo da fiação Avitzur apud Helman e Cetlin (2012).

De acordo com Bresciani (1997), em processos de conformação plástica, variáveis como o coeficiente de atrito é de grande importância, pois afeta de forma direta o comportamento do escoamento do material, a carga total do

processo durante a conformação e tendo como consequência, alterações nas tensões, nas deformações, nas propriedades finais do produto, causando perdas de energia e desgaste pré-maturo nas matrizes. Uma outra variável de grande importância na deformação plástica a ser considerada, é o gradiente de temperatura proveniente da geração de calor decorrente do processo. Como consequência das variáveis citadas acima, (Atrito, Temperatura), o uso de lubrificantes durante a trefilação faz-se necessário, para minimizar as perdas de energia, desgaste excessivo da matriz e que opere como um isolante térmico entre as partes peça/ferramenta, quando se fizer necessário o trabalho à quente.

De acordo com Dieter (1986), a construção das matrizes (fieira), devem possuir características geométricas, que possibilite ter uma maior vida útil, a produção de produtos com alta precisão dimensional e ótima qualidade final. Na Figura 3, é possível identificar as principais regiões da fieira e as suas funções no processo.

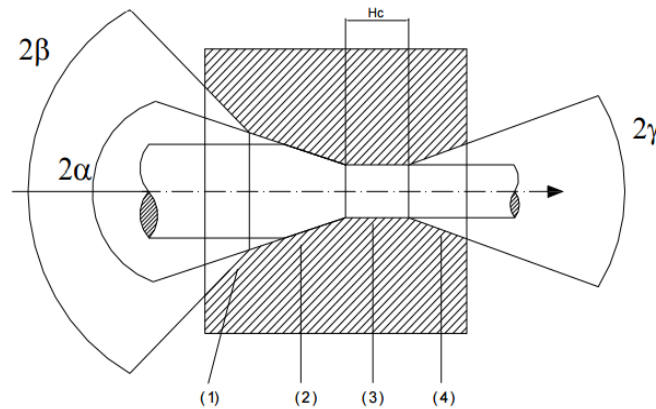


Figura 3. Representação geométrica das quatro regiões principais de uma fieira de Nunes (2008).

- (1) Região de entrada do material a ser trefilado e também do local de onde se faz a lubrificação. O ângulo de entrada 2β tem a função de facilitar a entrada do material.
- (2) Essa região é onde ocorre o escoamento, o cisalhamento e a deformação plástica do material. A força de trefilação do material trabalha, está diretamente relacionado com a região do ângulo 2α .
- (3) Essa região é considerada de grande importância dentre as regiões de trabalho da fieira, pois é aonde acontece a calibração que define a geometria e a dimensão final do produto.
- (4) Nessa região, o material trabalhado sofre um recuperação elástica devido aos esforços compressivos que aconteceram nas regiões 2 e 3, ocorrendo um pequeno aumento no seu diâmetro. O ângulo 2γ contrário ao de entrada, facilita a saída do material.

1.2. Lubrificação

Segundo Altan et al (2005), para otimizar a performance da ferramenta, deve-se avaliar o desempenho das funções básicas dos lubrificantes: controlar o atrito e consequentemente reduzir o desgaste da ferramenta, prevenir contra “galling” (aderência progressiva do material da peça na ferramenta), reduzir os esforços necessários à trefilação, aumentar os limites de deformação, proteger contra corrosão e dissipar o calor. O calor é dissipado através do veículo usado para transporte do lubrificante.

Sob condições a seco nenhum lubrificante é utilizado na interface e somente as camadas de óxidos presentes na fieira e na matéria-prima estão presentes. Neste caso, o atrito é elevado, situação desejável em pequeno número de operações de conformação.

Keeler (2001) define uma barreira lubrificante como sendo um filme que isola completamente a superfície da barra metálica da superfície da fieira conforme Figura 4. Para que esta camada seja formada eficientemente, alguns parâmetros devem ser levados em conta.

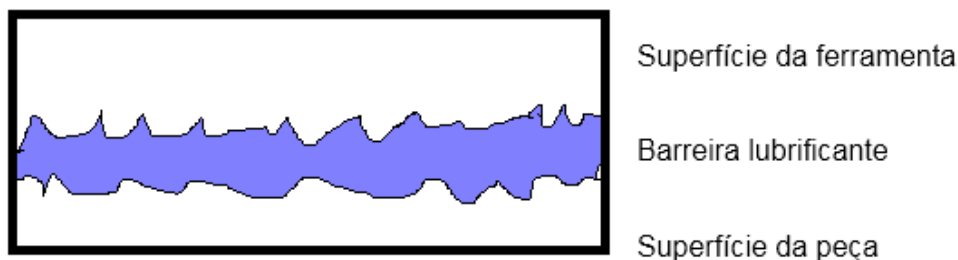


Figura 4. Esquema da barreira lubrificante isolando a superfície da ferramenta com superfície da chapa metálica Adaptado de Keeler (2001).

Parâmetros tais como viscosidade, molhabilidade, aditivos de extrema pressão e refrigeração eficiente podem afetar significativamente a vida da ferramenta, qualidade da peça, limite de trefilação e em geral a produtividade.

De acordo com Martinez (1998), o objetivo do lubrificante é de substituir uma condição de atrito sólido de deslizamento, de prejudicial ao processo, por um atrito fluido. O lubrificante deve satisfazer algumas condições:

- Ser capaz de manter separados a superfície da fiação e do material trefilado durante todo o processo de trefilação.
- Manter-se estável perante a mudança de temperatura.
- Não reagir quimicamente com a superfície metálica.
- Manter limpas as superfícies lubrificadas.

Ainda segundo o autor, as vantagens da lubrificação no processo de trefilação está associada:

- Diminuição do atrito: o elevado valor atrito conduzem a perda de potência consequentemente um aumento da carga de trabalho. Logo uma carga elevada no fio trefilado, que pode provocar a sua fratura.
- Redução do desgaste: reflete no custo da operação, nas tolerâncias dimensionais. Em alguns casos o lubrificante pode ter um papel de atuar como refrigerante.
- Controle da deformação: na medida que o atrito e, consequentemente, as tensões atuantes nos diversos pontos da peça de trabalho. Elas condicionam também a distribuição das deformações no sentido de homogeneizar essas deformações e minimizar o aparecimento de defeitos.

1.3. Parâmetros de rugosidade superficial

De acordo com Gomes (2011), a rugosidade é de grande importância na determinação da vida útil de componentes de equipamentos industriais, maquinários e custos de manutenção. O estudo do acabamento superficial é de grande importância nos processos, produtos à medida que a precisão de ajustes entre peças que trabalham em contato se torna fator de qualidade, pois as pesquisas mostraram as grandes vantagens de se fabricar produtos observando os parâmetros de rugosidade. No Brasil a norma que rege os conceitos de rugosidade superficial é ABNT NBR 6405-1985.

1.4.1 Rugosidade média Ra

O parâmetro de rugosidade média Ra é definido como a média aritmética dos valores absolutos em relação à linha média, e definido dentro do percurso l de medição, conforme a Figura 5 ilustra (OLIVEIRA,2004).

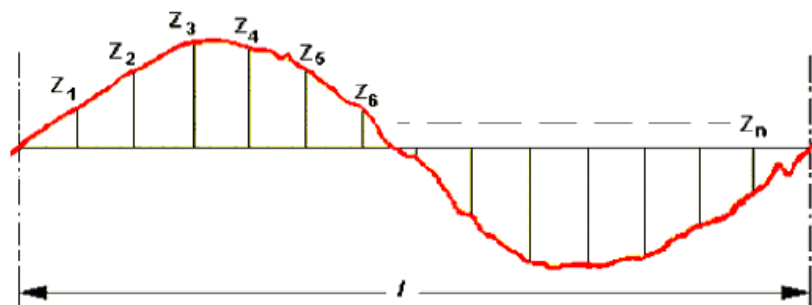


Figura 5. Média aritmética dos desvios da superfície (Whitehouse apud Oliveira, 2004).

A equação que define a rugosidade média é a seguinte:

$$R_a = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + \dots + Z_n}{n} = (\mu m) \quad (1)$$

2.4.1 Rugosidade média Rz

De acordo com Stoeterau (2004) o parâmetro de rugosidade média Rz corresponde à média aritmética dos valores das rugosidades parciais. A rugosidade parcial (Zi) é definida como a altura entre o vale mais profundo e o pico mais alto, acima e abaixo da linha média, existentes no comprimento de amostragem (*cut-off*), conforme mostra a Figura 6.

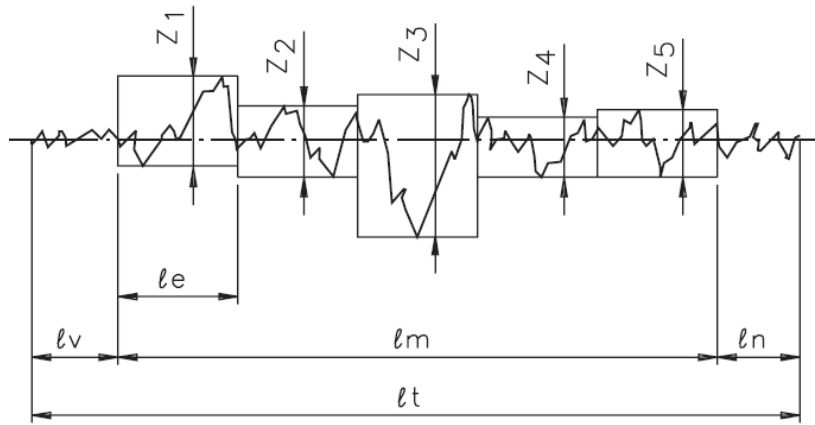


Figura 6. Definição das rugosidades parciais no comprimento de amostragem adaptado de Stoeterau (2004).

A equação que define a rugosidade média R_z é a seguinte:

$$R_z = \sqrt{\frac{Z_1^2 + Z_2^2 + Z_3^2 + \dots + Z_n^2}{n}} = (\mu m) \quad (2)$$

2. METODOLOGIA

O trabalho experimental desenvolvido nesta pesquisa foi dividido em duas etapas: uma referente à fabricação dos corpos de prova e outra referente aos diversos ensaios de caracterização mecânica dos materiais. Os ensaios realizados foram os seguintes: trefilação dos corpos de prova, rugosidade superficial antes e após a realização dos ensaios de trefilação e microdureza de amostras retiradas de corpos de prova trefilados e não trefilados.

Os materiais selecionados para a avaliação da influência da lubrificação no processo de trefilação foram o aço SAE 1020. A composição química média do aço está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química média do aço SAE 1020.

Elemento	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
Média (%)	0,21	0,56	0,12	0,024	0,017	0,10	0,05	0,01

A geometria dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de trefilação esta mostrada na Figura 7.

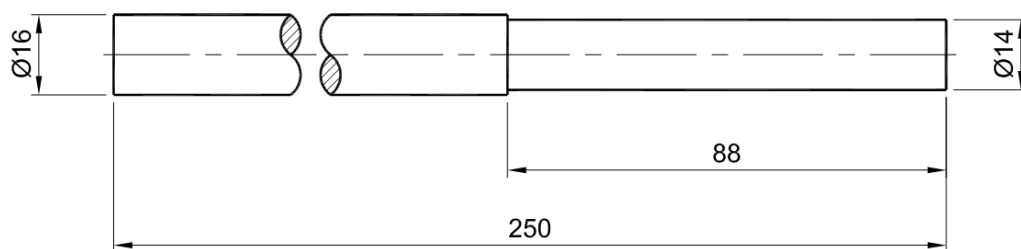


Figura 7. Geometria dos corpos de prova utilizados nos ensaios de trefilação elaborado pelo autor.

Os lubrificantes utilizados foram o grafite em pó, a vaselina USP e a graxa de bissulfeto de molibdênio MOLYKOTE. Esta pesquisa foi dividida em três grupos de acordo com o tipo de lubrificação empregado nos ensaios de trefilação, conforme ilustra a Figura 8.

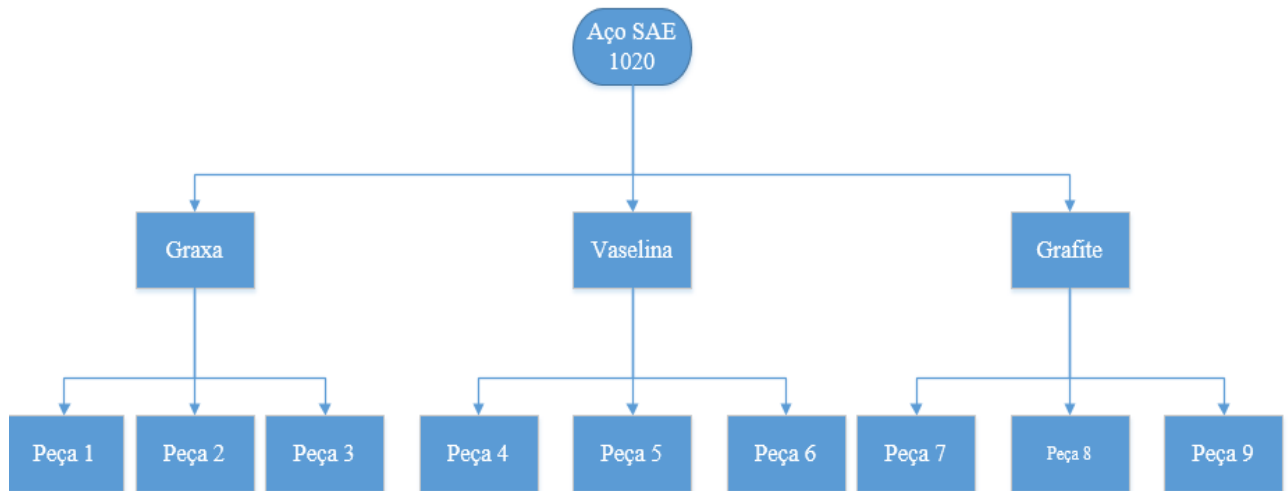


Figura 8: Fluxograma do processo experimental

Para a realização dos ensaios de trefilação e dos ensaios de caracterização mecânica dos materiais foram fabricados nove corpos de prova. As dimensões são as mesmas para todos os corpos-de-prova utilizados nos ensaios.

Foram utilizados os parâmetros de rugosidade superficial média (R_a) e (R_z). As medições foram obtidas pelo rugosímetro da marca Taylor Robson. Além disso, foi utilizado um comprimento de amostragem (*cut-off*) de 0,8 mm, conforme norma NBR ISO 4287/2002. Foram efetuadas medições antes e após a realização da trefilação dos corpos de prova, sendo caracterizadas pela região não trefilada e trefilada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 9 ilustra a microestrutura do aço SAE 1020 com ampliação de 400x num microdurômetro da marca Shimadzu, modelo HMV-2T, antes e após o processo de trefilação, com a utilização do grafite como lubrificante:

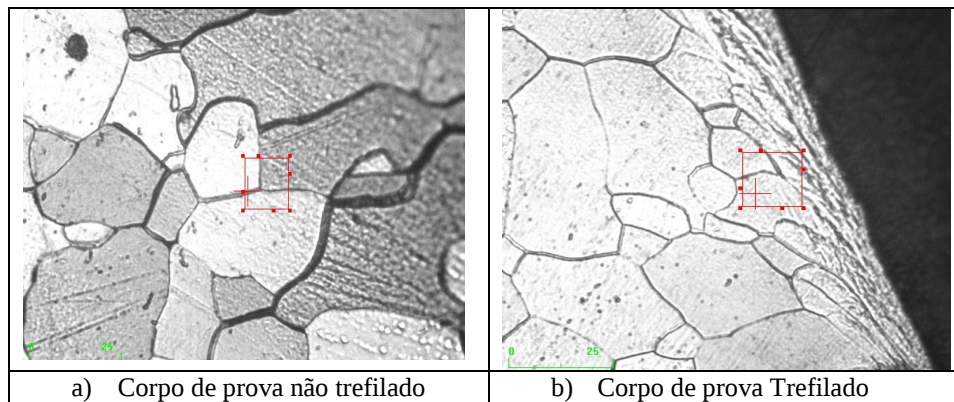


Figura 9. Microestrutura do material com a aplicação do lubrificante grafite

A Figura 10 ilustra a microestrutura do aço SAE 1020 com ampliação de 400x num microdurômetro da marca Shimadzu, modelo HMV-2T, antes e após o processo de trefilação, com a utilização da graxa como lubrificante:

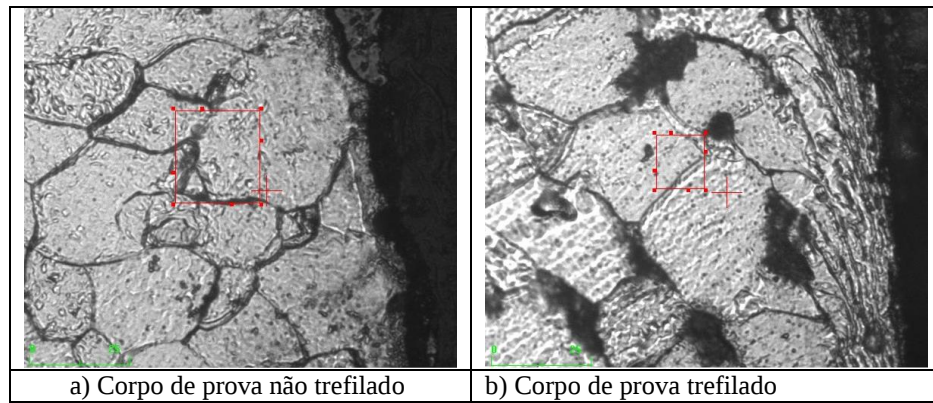


Figura 10. Microestrutura do material com a aplicação do lubrificante graxa.

A Figura 11 ilustra a microestrutura do aço SAE 1020 com ampliação de 400x num microdurômetro da marca Shimadzu, modelo HVM-2T, antes e após o processo de trefilação, com a utilização do vaselina como lubrificante:

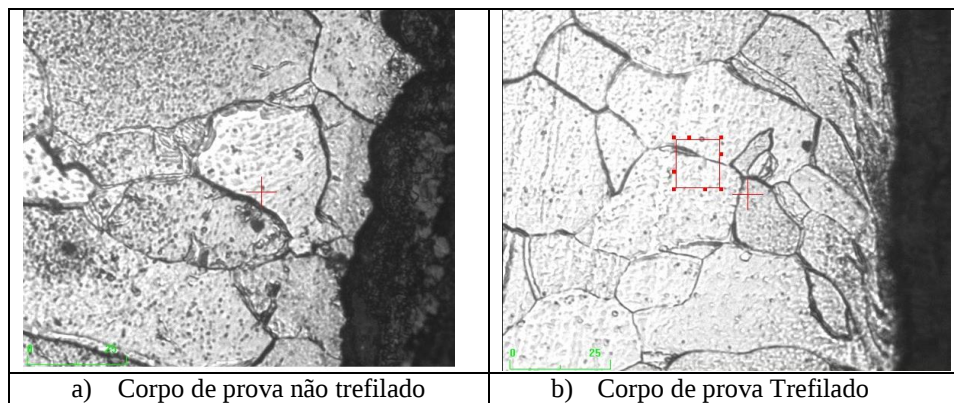


Figura 11. Microestrutura do material com a aplicação do lubrificante vaselina

A Figura 12 ilustra o resultado do parâmetro Ra, onde foram feitas medições da rugosidade externa de todos os corpos de prova. Estas medidas foram repetidas três vezes em diferentes pontos para que se tivesse confiabilidade dos resultados.

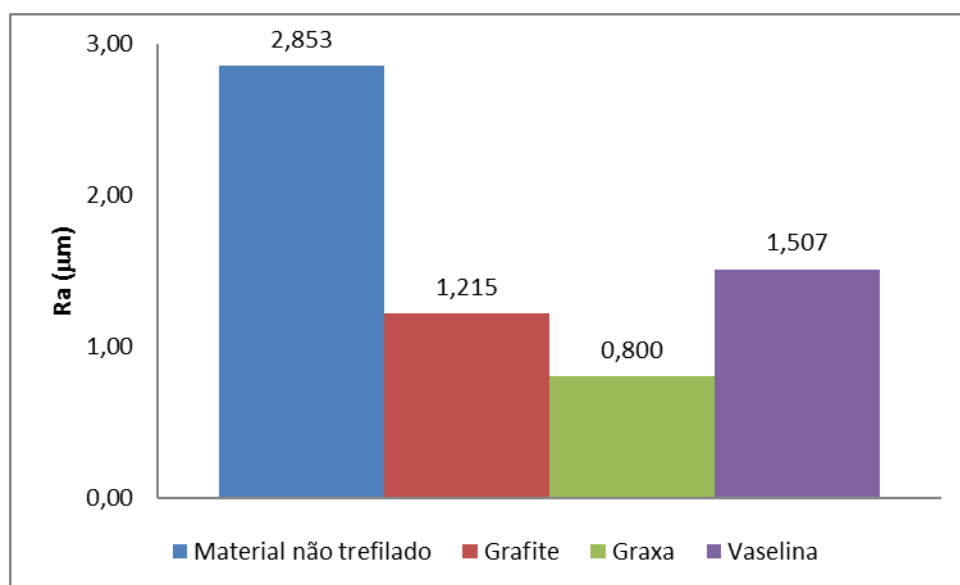


Figura 12. Rugosidade superficial parâmetro Ra.

A Figura 13 ilustra o resultado do parâmetro Rz, onde foram feitas medições da rugosidade externa de todos os corpos de prova. Estas medidas foram repetidas três vezes em diferentes pontos para que se tivesse confiabilidade dos resultados.

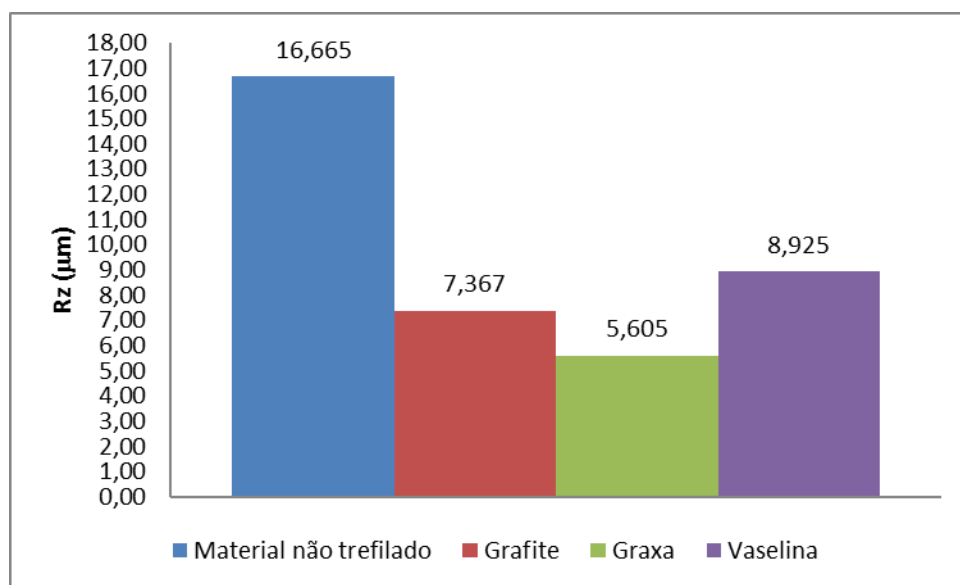


Figura 13. Rugosidade superficial parâmetro Rz.

4. CONCLUSÃO

Através das medições com o rugosímetro da marca Taylo Robson foi possível comprovar que o lubrificante influenciou no acabamento superficial, pois para o material e diferentes lubrificantes houve uma diferenciação nos parâmetros de rugosidade Ra e Rz. Sendo que quando se comparado os lubrificantes, a graxa foi a que obteve menor valor de Ra e Rz, logo melhor acabamento superficial. Quando se compara a microestrutura da região trefilada e como recebido observa-se que a região externa da barra em contato com a fiação apresentou alongamento e refino dos grãos. Sendo mais acentuado no material trefilado com grafite, menor intensidade no conformado com vaselina.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a PUC Minas, Una, Fapemig, Capes e CNPQ.

6. REFERÊNCIAS

- Altan, T., CHANDRASEKHARAN, S., PALANISWAMY, H.; JAIN, N., NGAILE, 2005, "Evaluation of stamping lubricants at various temperature levels using the ironing test", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 45, pp. 379-388.
- Bresciani F., 1997, "Conformação Plástica do Metais", Ed. Da Unicamp, 5ª edição, Campinas, São Paulo, Brasil, 383p.
- Corrêa, E, C, S., 2004, "Aspectos do Encruamento de Metais Previamente Deformado a Frio", Escola de Engenharia da UFMG, Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, 233p.
- Dieter, G, E., 1986, "Metalurgia Mecânica", Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, Brasil, 561 p.
- Gomes, D. J. C., 2011, "Determinação de resistência à fadiga em aços ABNT 4140 em vidas super longas (giga ciclos)", Dissertação Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Helman, H., Cetlin, P, R., 2013, "Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais", Vol. 2, Belo Horizonte, Brasil, 263p.
- Keeler, Sandro, 2001, "The Barrier Lubricants Are Coming Magazine Metal Forming", pp. 72-73.
- Klann, Rui, 2000, "Lubricants for high-Speed Stamping. Magazine Metal Forming", pp.30- 33.
- Martinez, G. A. S., 2004, "Comportamento da lubrificação no tribo-sistema de trefilação a altas velocidades", Tese Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas.
- Morais, W. A., 2003, "Conformação Plástica dos Metais", Universidade Santa Cecília, SP.
- Nunes, R, M., 2008, "Análise de Tensões Residuais no Processo de Trefilação Combinada do Aço AISI 1048 visando minimizar distorções pós processamento", Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Dissertação do Título de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, Brasil, 100p.

Oliveira, C. J. d., 2004, “Avaliação da influência de sistemas de filtragem aplicados à topografia de superfície em usinagens”, Dissertação Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte.
Stoeterau, R. L., “ Tribologia ”, Universidade Federal de Santa Catarina, Apostila, Florianópolis.
Van Vlack, L. H., 2004, “Princípio de ciência dos materiais”, Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, 413p.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

LUBRIFICATION INFLUENCE ON STEEL SAE 1020 DRAWING PROCESS

Daniel de Castro Maciel, danielcastro_bh@yahoo.com.br¹
Diego Raimundi Corradi, diego.corradi@yahoo.com.br²
Gilmar Cordeiro Silva, gilmarcord@gmail.com¹
Norberto Martins, norbertoengmec@gmail.com¹
Daniel Januário Cordeiro Gomes, danieljanuario@yahoo.com.br²
Juan Marcos Santos Dutra, juandutrinha@gmail.com¹
Fernanda Christina Teotonio Dias Troysi, fernandadias.eng@outlook.com¹

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, Belo Horizonte MG

²Centro Universitário Una, Av. Afonso Vaz de Melo, 465, Barreiro, Belo Horizonte, MG

Abstract. *The drawing process is a mechanical operation which consists in the reduction of the cross-sectional area and the increase of the length, applied on bars and tube. Three lubrication conditions (solid, liquid and pasty) were used, applied to 18% percentage reduction of area. The surface finish resulting from the process influences significantly the performance and operation of mechanical components. The steel when subjected to external stresses can fail. So, in this situation it is important to know the characteristics of the microstructure such as shape and size of the grains, present phases and the appearance of microcracks. The friction conditions at the die/workpiece interface can lead to the formation of surface and internal defects, residual stresses and an increase in mechanical strength due to work hardening. This study aims to evaluate the influence of the type of lubrication on the surface finish (roughness) and the microstructure of the cold rolled steel SAE 1020. Thus, it will be possible to determine which lubricant ensures to drawing parts lower surface roughness or for which lubricant the produced part presented higher work hardening.*

Keywords: *drawing process, roughness, microstructure, steel SAE 102.*