

LUBRIFICAÇÃO SOB PRESSÃO APLICADA À TREFILAÇÃO DE TUBOS COM PLUG FIXO

Frederico Ozanan Neves

Universidade Federal de São João del-Rei

fred@ufsj.edu.br

(32) 3379 2607

Fernando Cesar Gentile

Universidade Estadual de Campinas

gentile@fem.unicamp.br

(19) 3788 3398

Célio Caminaga

Universidade Estadual de Campinas

caminaga@fem.unicamp.br

(19) 3788 3398

Sérgio Tonini Button

Universidade Estadual de Campinas

sergio1@fem.unicamp.br

(19) 3788 3317

Resumo. A redução do esforço de trefilação representa, além da redução do consumo de energia e, portanto, do custo operacional, um aumento na parcela de deformação homogênea com conseqüente melhor distribuição das propriedades mecânicas na seção do produto trefilado. Neste trabalho, um dispositivo, composto de duas fieiras em série, mantidas dentro de um recipiente que pode ser selado, é proposto para a trefilação de tubos com plug fixo com intuito de se realizar a operação na condição de lubrificação sob pressão. Desta forma, melhora-se a lubrificação na interface entre o tubo e a fieira, reduzindo-se o atrito e, em conseqüência, a tensão de trefilação. A trefilação dos tubos foi conduzida em três velocidades distintas e, combinadas com três diferentes lubrificantes. Um desses lubrificantes é um óleo mineral comum e os outros dois são lubrificantes especialmente desenvolvidos para conformação a frio. Os resultados são comparados com resultados obtidos para a trefilação com lubrificação sem pressão. Ao final dos ensaios, empregando-se métodos estatísticos, pode-se concluir que o dispositivo apresenta uma significativa capacidade para reduzir a tensão de trefilação. Também se pode analisar a efeito da velocidade combinada com o dispositivo sobre o esforço de trefilação, bem como avaliar a como esse esforço é influenciado pelo tipo de lubrificante empregado.

Palavras chave: Trefilação de tubos; lubrificação; projeto de ferramentas.

1. INTRODUÇÃO

A trefilação é um processo de fabricação bastante útil porque, na medida em que promove a obtenção dos produtos por deformação a frio, confere-lhes propriedades de resistência mecânica superiores às obtidas por processos que são realizados à quente, sem a necessidade de tratamentos térmicos posteriores, além de ótimo acabamento superficial e tolerâncias precisas. Em particular, a trefilação de tubos pode ser executada com a presença de uma ferramenta interna para conferir-lhe melhor qualidade superficial e dimensional à parede interna do tubo (Avitzur, 1983). A ferramenta interna pode ser um mandril, que se trata de um corpo cilíndrico com o diâmetro igual ao diâmetro interno do tubo trefilado, ou de um *plug* com o formato da região interna da zona de deformação. O *plug* pode ser do tipo fixo ou flutuante. A ferramenta externa é a fieira, que possui um orifício cônico convergente que, além de produzir a deformação pretendida, facilita o arraste do lubrificante líquido para a zona de trabalho, melhorando, assim, a lubrificação (Martinez, 1998; Button, 2001). Estudos que associam a previsão das propriedades mecânicas de produtos trefilados e a redução do esforço de trefilação e custos com os parâmetros operacionais da trefilação, bem como com o ferramental empregado vem sendo conduzidos há algum tempo (Jallon e Hergesheimer, 1993; Joun e Hwang, 1993; Chin e Steif, 1995; Dixit e Dixit, 1995; El-Domiat e Kassab, 1998). Neste trabalho, apresentamos um dispositivo especialmente projetado para reduzir a força de trefilação, através da obtenção de uma lubrificação sobre pressão durante a trefilação de tubos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Tubos

Para os ensaios experimentais foram empregados tubos de aço inoxidável ABNT 304 com dimensões 10 x 1,5 mm (diâmetro externo x espessura da parede), adquiridos no mercado. Os tubos foram cortados no comprimento de 500 mm para fabricação dos corpos de prova. Os tubos foram submetidos ao processo de *swaging* – forjamento rotativo a frio - para a redução de uma de suas extremidades o que permitiu que o tubo passasse através das fieiras e pudesse ser fixado à garra de trefilação.

2.2 Dispositivo de trefilação

O dispositivo é composto de um conjunto que permita a obtenção da pressurização de uma câmara a fim de induzir um regime de lubrificação hidrostática na interface entre a superfície externa do tubo e a superfície da fieira. A Figura 1 mostra a representação esquemática do dispositivo, onde são encontrados os seguintes elementos:

- 1 – célula de carga;
- 2 – fieira anterior;
- 3 – suporte das ferramentas;
- 4 – câmara de pressão;
- 5 – fieira posterior;
- 6 – varão;
- 7 – *plug*.

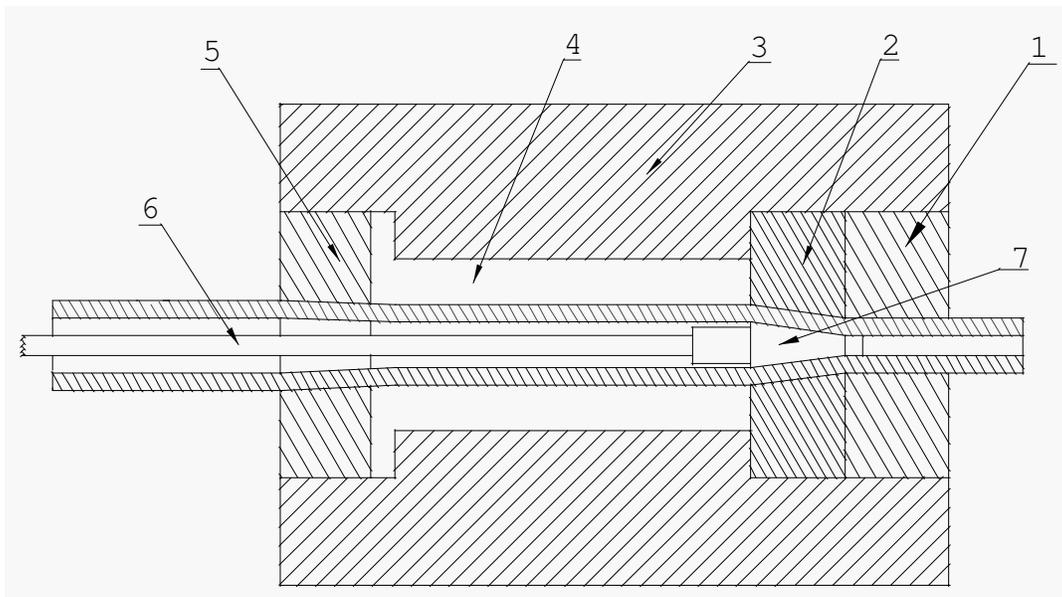


Figura 1 – Dispositivo de trefilação de tubos com *plug* fixo.

O conjunto é projetado para trabalhar da seguinte forma: o suporte das ferramentas possui três câmaras. A câmara anterior aloja uma fieira, denominada fieira anterior, que promove a parte substancial da redução do tubo e também aloja a célula de carga que irá medir a força de trefilação. Segue-se a câmara de pressão que recebe o óleo lubrificante. Uma câmara posterior recebe uma segunda fieira, denominada fieira posterior, que irá promover uma redução muito pequena. O comprimento dessa câmara é maior do que o corpo da carcaça da fieira. O volume decorrente da diferença de comprimento da câmara e da fieira é preenchido também com o óleo lubrificante. O tubo é forçado a passar pelas duas fieras. Ao passar pela fieira posterior, ele a arrasta e, em consequência, comprime o lubrificante na câmara de pressão, forçando-o a passar juntamente com o tubo pela fieira anterior, gerando a lubrificação hidrostática e, possivelmente promovendo a separação entre a superfície externa do tubo e da fieira na zona de trabalho. O plug é posicionado na zona de trabalho da fieira anterior através do varão. O varão, por sua vez, é fixado à estrutura da bancada de trefilação. O óleo lubrificante é introduzido na câmara de pressão que é, em seguida, vedada.

As fieras são fabricadas em metal duro, encarcadas em aço, com semi-ângulo de trabalho de 7° . A fieira anterior tem diâmetro inicial de 9,8 mm e final de 7,94 mm, com comprimento da zona de calibração igual a 3 mm. A fieira posterior tem diâmetro de inicial de 10 mm e final de 9,8 mm, com comprimento da zona de calibração de 2 mm.

O *plug* foi construído em aço VCA 131, temperado e revenido para a dureza de 52 HC. O ângulo de trabalho do plug é de $5,4^\circ$ com uma região cilíndrica de calibração de 2 mm.

2.3 Lubrificantes

Foram empregados três lubrificantes. O primeiro, um óleo mineral comercial SAE 20W50. Os outros dois foram o lubrificante *Reniform MZA 20*, procedente de um óleo mineral e formulado com aditivos de extrema pressão e matéria graxa e o *Extrudoil 319 MOS* um óleo semi sintético, sem cloro, com adição de bissulfeto de molibdênio, utilizado industrialmente na conformação a frio. As viscosidades cinemáticas destes lubrificantes são 197,3 cSt e 69,3 cSt, respectivamente.

2.4 Planejamento experimental

Foi utilizado um planejamento fatorial aleatorizado. As variáveis de influência foram:

- Tipo de lubrificante: Renoform MZA 20, Extrudoil 319 MoS₂ e SAE 20 W 50
- Velocidade de trefilação: 1 m/min; 2 m/min e 5 m/min
- Tipo de lubrificação: pressurizada e não pressurizada.

A variável de resposta escolhida para a análise foi a força de trefilação.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A Figura 2 mostra o resultado da medição da força de trefilação, em três réplicas, na condição de trefilação com lubrificante óleo mineral SAE 20W50 e velocidade de 1 m/min. As Figuras 3 e 4, mostram a medição da força de trefilação empregando-se o mesmo lubrificante, para velocidades de 2 e 5 m/min, respectivamente.

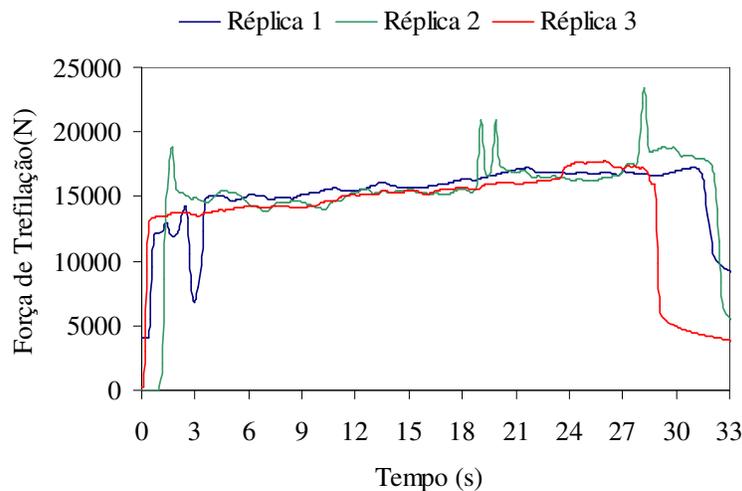


Figura 2 – Força de trefilação medida – lubrificante: SAE 20W50 – $v = 1$ m/min

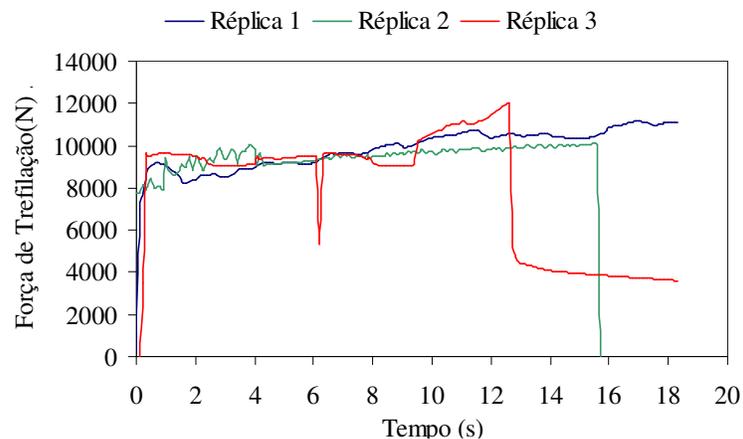


Figura 3 – Força de trefilação medida – lubrificante: SAE 20W50 – $v = 2$ m/min

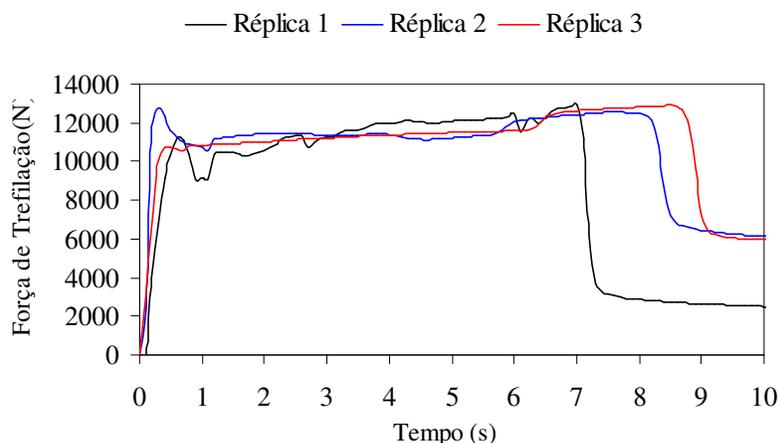


Figura 4 – Força de trefilação medida – lubrificante: SAE 20W50 – $v = 5$ m/min

As curvas mostram que durante o desenvolvimento do ensaio, a força cresce rapidamente e atinge um valor estável. No final da trefilação, ocorre um aumento súbito do valor da força de trefilação. Este aumento corresponde ao momento em que o tubo atravessa a fieira posterior, ocorrendo então a descompressão do sistema de lubrificação. O valor médio da força de trefilação sob pressão é obtido desde o ponto onde se inicia a estabilização da força até o momento em que ocorre a descompressão. O valor médio da força de trefilação sem pressão é obtido desde o momento da descompressão até o término da trefilação.

As Figuras 5 a 7 mostram a força de trefilação medida quando se emprega o lubrificante *Renoform MZA 20*, nas velocidades de 1, 2 e 5 m/min. Pode-se notar que a transição da lubrificação sob pressão para lubrificação sem pressão é marcadamente mais acentuada com este segundo lubrificante, principalmente para as duas velocidades mais altas. Assim como na trefilação com o lubrificante óleo mineral SAE 20W50, a força de trefilação cresce inicialmente, atingindo, a seguir, um regime estável até o momento em que o tubo atravessa a fieira posterior.

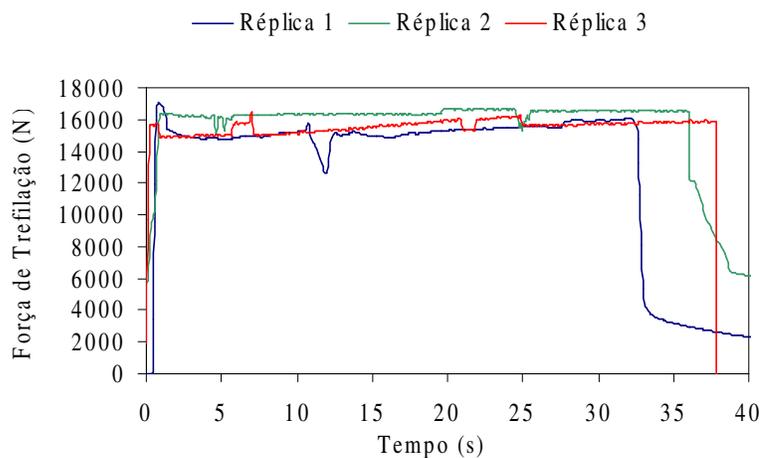


Figura 5 – Força de trefilação medida – lubrificante: Renoform MZA 20 – $v = 1$ m/min

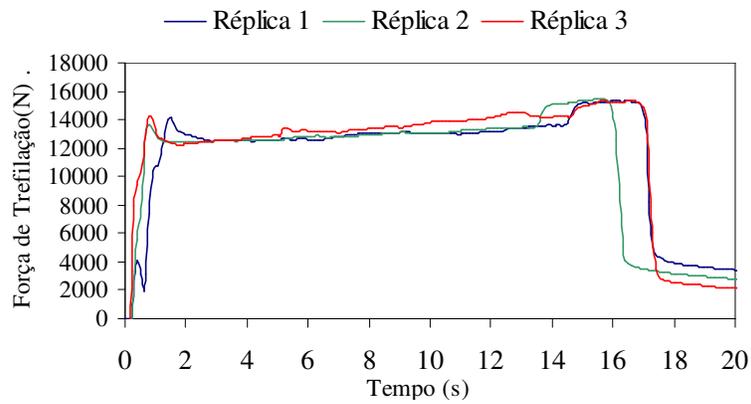


Figura 6 – Força de trefilação medida – lubrificante: Renoform MZA 20 – $v = 2$ m/min

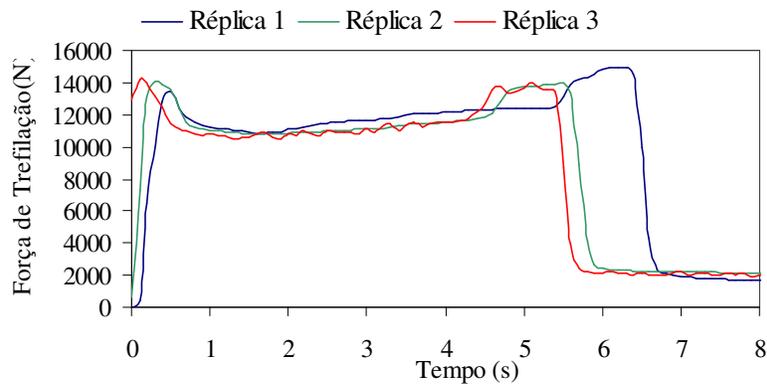


Figura 7 – Força de trefilação medida – lubrificante: Renoform MZA 20 – $v = 5$ m/min

A força de trefilação medida quando se emprega o lubrificante *Extrudoil MOS 319* é mostrada nas Figuras 8 a 10, para as velocidades de 1, 2 e 5 m/min. As mesmas características de comportamento da força de trefilação apontada nos casos anteriores é novamente observada, apontando-se que tais características são observáveis nitidamente na condição de trefilação na velocidade de 1 m/min.

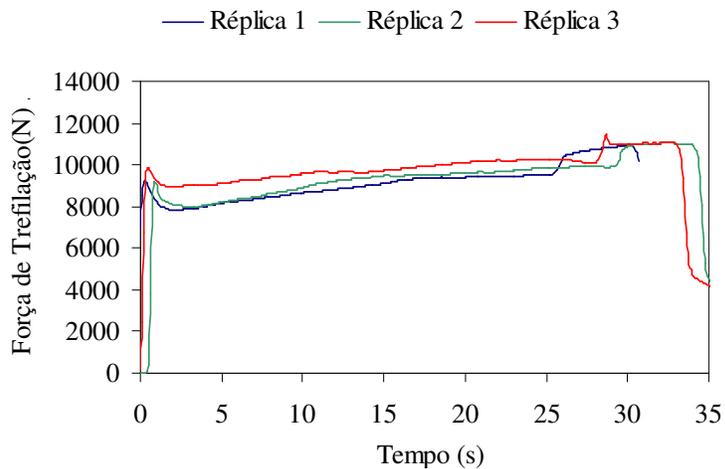


Figura 8 – Força de trefilação medida – lubrificante: Extrudoil MOS 319 – $v = 1$ m/min

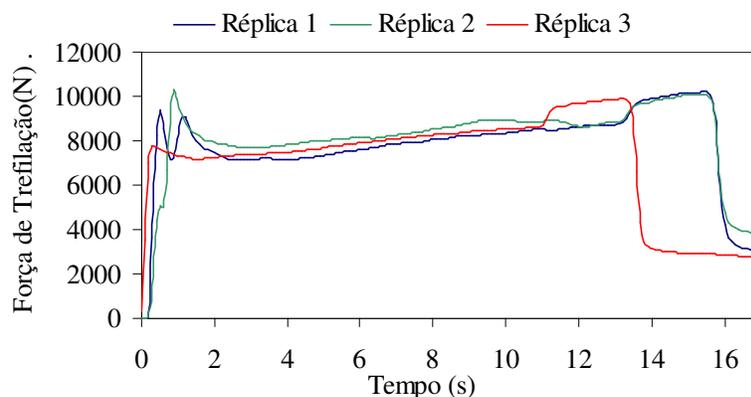


Figura 9 – Força de trefilação medida – lubrificante: Extrudoil MOS 319 – $v = 2$ m/min

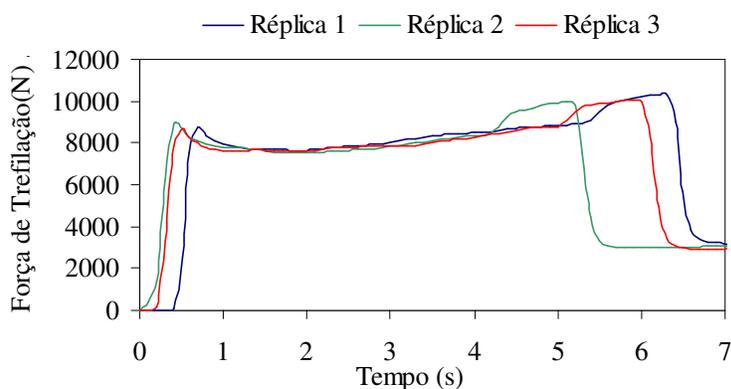


Figura 10 – Força de trefilação medida – lubrificante: Extrudoil MOS 319 – $v = 5$ m/min

A Tabela 1 mostra o resultado da força média de trefilação medida e o aumento relativo percentual da força de trefilação média na condição de lubrificação com pressão para a lubrificação sem pressão. De acordo com a Tabela 1, pode-se obter uma redução em torno de 10% quando se emprega os lubrificantes *SAE 20W50* e *Renoform MZA 20*, principalmente nas velocidades mais altas, na condição de lubrificação sob pressão em relação à condição de trefilação sem pressão. Esta redução é sensivelmente maior, acima de 16%, quando o lubrificante empregado é o *Extrudoil MOS 319*. A análise estatística dos resultados mostrou que o lubrificante *Extrudoil MOS 319* é, de fato, o que apresenta o melhor desempenho para redução da tensão de trefilação. A melhor combinação de parâmetros de trefilação se dá para a condição em que se emprega esse lubrificante nas velocidades de 2 ou 5m/min com lubrificação pressurizada. A análise estatística mostrou, também, que existe uma influência significativa da velocidade e do tipo de lubrificante sobre a tensão de trefilação.

Tabela 1 – Força média de trefilação medida

Lubrificação	SAE 20W40		
	1 m/min	2 m/min	5 m/min
PRESSURIZADA	450,0	273,8	328,3
SEM PRESSÃO	498,7	308,2	358,8
Aumento relativo (%)	10,8	12,6	9,3
	RENOFORM MZA 20		
	1 m/min	2 m/min	5 m/min
PRESSURIZADA	448,3	374,1	323,0
SEM PRESSÃO	445,0	435,2	358,7
Aumento relativo (%)	-0,7	14	11
	EXTRUDOIL 319 MOS		
	1 m/min	2 m/min	5 m/min
PRESSURIZADA	266,3	229,3	228,2
SEM PRESSÃO	310,7	272,7	285,1
Aumento relativo (%)	16,7	18,9	24,9

4. CONCLUSÕES

- O dispositivo de trefilação de tubos mostrou-se capaz de induzir lubrificação sob pressão durante o processo e, em consequência, de reduzir o esforço de trefilação;
- O lubrificante *Extrudoil 319 MOS* mostrou-se o mais eficiente para a redução do esforço de trefilação, quando utilizado conjuntamente com o dispositivo de trefilação proposto;
- As velocidades de 2 e 5 m/min mostraram-se as melhores para obtenção da lubrificação sob pressão e para a redução do esforço de trefilação, quando utilizado conjuntamente com o dispositivo de trefilação proposto.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FUCHS DO BRASIL S.A. que gentilmente forneceu os lubrificantes *Renoform MZA 20* e *Extrudoil MOS 319* para os ensaios experimentais e à FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pelo financiamento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Avitzur, B. , 1983, “Handbook of metal-Forming Process”. Ed. John Wiley & Sons. N. York, Cap. 9: Tubing and Tubular products.
- Button, S.T. , 2001, “Numerical simulation of hydrodynamic lubrication in cold extrusion”, XXII CILAMCE, Anais Do Congresso, CD-ROM, Campinas
- Chin R.K. and Steif P.S. , 1995, “A computational study of strain inhomogeneity in wire drawing”, Int. J. of Machine Tools & Manufacture, vol. 35 (8), pp. 1087-1098.
- Dixit U.S. and Dixit P.M., 1995, “An analysis of the steady-state wire drawing of strain-hardening materials”, J. of Mat. Proc. Tech., vol 47 (3-4), pp. 201 – 229.

- El-Domiaty, A. and Kassab, S.Z., 1998, "Temperature rises in wire drawing", J. Mat. Proc. Tech., Vol 83, Iss 1-3, pp 72-83.
- Martinez, G.A.S., 1998, "Comportamento da Lubrificação no Tribo-sistema de Trefilação a Altas Velocidades", Tese de Doutorado, UNICAMP.
- Jallon, M. e Hergesheimer, M, 1993 "Prediction of behavior during wire drawing of high-carbon wire", Revue de Metalurgie – Cahiers D'informations Techniques, vol. 90, pp. 1303-1309.
- Joun M.S. and Hwang S.M., 1993, "Pass Schedule Optimal-Design In Multipass Extrusion And Drawing By Finite-Element Method". Int. J. Mach. Tools & Manufacture, vol. 33: (5), pp. 713-724.

PRESSURIZED LUBRICATION APPLIED TO TUBE DRAWING WITH FIXED PLUG

Frederico Ozanan Neves

Universidade Federal de São João del-Rei

fred@ufsj.edu.br

(32) 3379 2607

Fernando Cesar Gentile

Universidade Estadual de Campinas

gentile@fem.unicamp.br

(19) 3788 3398

Célio Caminaga

Universidade Estadual de Campinas

caminaga@fem.unicamp.br

(19) 3788 3398

Sérgio Tonini Button

Universidade Estadual de Campinas

sergio1@fem.unicamp.br

(19) 3788 3317

Abstract. The reduction of drawing force leads to a reduction of energy consume and, therefore, reduces operational costs, and provides products with increased homogeneous strain and better mechanical properties. In this work we present a tool set with two dies in a recipient that can be sealed in order to promote a pressurized lubrication in tube drawing with a fixed plug. With this tool set, lubrication on tube/die interface is improved, reducing friction and drawing stress. Tube drawing was held in three different drawing speeds and with three different lubricants on common commercial mineral oil and two lubricants specially developed to cold metal forming. Experimental results were compared to those obtained in tests without pressurized lubrication. The results were analyzed with statistical methods and we concluded that the tool set was able to significantly reduce the drawn stress. It was also possible to analyze the effect on the drawn force of the drawn speed combined with tool set, as well as it was possible to available the effect of the three different lubricants on the drawn force.

Keywords: Tube drawing, lubrication, die design.