

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE NAS TENSÕES RESIDUAIS GERADAS NO TORNEAMENTO DO AÇO 4140

Matheus Patrick Soares Barbosa¹, mpatrick.barbosa@gmail.com

Reissel Reis de Souza¹, reisreissel@gmail.com

Geraldo Lima¹, geraldoslimaf@outlook.com

Maria Cindra Fonseca², mcindra@vm.uff.br

Tatiane de Campos Chuvas¹, tatiane.chuvas@cefet-rj.br

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica/PGMEC, Rua Passo da Pátria, 156, Bl. D, CEP 24210-240 – Niterói, RJ, Brasil.

Resumo: A presença de tensões residuais, geradas em todos os processos de fabricação, constitui um dos grandes problemas encontrados na indústria, pois tensões residuais trativas têm efeito prejudicial nos materiais, diminuindo a vida em fadiga e a resistência à corrosão sob tensão dos mesmos. Contudo, tensões superficiais de natureza compressiva oferecem benefícios, principalmente, por ser uma barreira para a propagação de trincas. Deste modo, o estudo destas tensões é de caráter fundamental para garantir a integridade estrutural de componentes e estruturas metálicas. A busca por processos de fabricação que reduzam o tempo necessário para a confecção de peças e componentes é um dos fatores que justificam o avanço tecnológico obtido nos processos de usinagem, principalmente com relação a velocidade de corte aplicada. Neste trabalho, foi conduzido um estudo experimental sobre a influência da velocidade de corte na natureza e magnitude das tensões residuais geradas no torneamento do aço SAE 4140. Foram utilizadas velocidades de corte entre 125 e 600 m/min. As tensões residuais superficiais foram medidas por difração de raios-X. Os resultados mostraram que as tensões residuais transversais foram trativas, o que poderia ser prejudicial em serviço. Contudo, para maiores valores de velocidade de corte foram obtidas menores magnitudes de tensões residuais.

Palavras-chave: tensões residuais, torneamento, SAE 4140, velocidade de corte

1. INTRODUÇÃO

Estudos de integridade superficial vêm sendo desenvolvidos e aprimorados continuamente, visando a otimização dos parâmetros de corte aplicados em operações de usinagem, principalmente no torneamento. Como se sabe, a busca por maior produtividade e redução de custos é constante na área metal-mecânica e essa necessidade incentiva os setores de usinagem a empregarem parâmetros de corte cada vez mais severos, o que tende a mudar significativamente a integridade superficial das peças fabricadas, principalmente, no âmbito do estado das tensões residuais (Navas *et al.*, 2012; Dahlman *et al.*, 2004).

As tensões residuais geradas durante a usinagem de determinado material dependem especialmente do material da peça, do tipo e geometria da ferramenta de corte e dos parâmetros de usinagem, tais como: velocidade de corte, avanço e profundidade de corte. O conhecimento da influência destes parâmetros na geração das tensões residuais é de grande importância pois tensões residuais superficiais em peças usinadas podem alterar características mecânicas das mesmas, reduzindo ou aumentando sua vida em fadiga, dependendo da natureza (tratativas ou compressivas) e magnitude das tensões produzidas. Durante as operações de usinagem, as tensões residuais são resultantes das deformações plásticas, originadas das forças de usinagem que atuam sobre a peça, do aquecimento não uniforme da peça e de possíveis variações volumétricas devido às mudanças de fase do material (Capello, 2005; Almer *et al.*, 2000).

O aço SAE 4140 é classificado como aço médio carbono ligado para beneficiamento, possuindo teores de carbono entre 0,3% e 0,5% e pode ser aplicado em temperaturas de até 480°C. A microestrutura é predominantemente martensítica após têmpera, conferindo ao material grande resistência mecânica e dureza. Esse material é aplicado na fabricação de automóveis, aviões, virabrequins, bielas, eixos, engrenagens, armas, parafusos, equipamentos para petróleo, dentre outros. Assim, a usinagem é amplamente empregada na fabricação de componentes compostos por esse material (Rasma, 2015; Aslan *et al.*, 2007).

O presente trabalho apresenta um estudo sobre a influência da velocidade de corte na natureza e na magnitude das tensões residuais geradas na operação de torneamento de SAE 4140, com o uso de ferramentas de metal duro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O material estudado neste trabalho foi o aço SAE 4140, em forma de barra laminada redonda, com 50,8mm de diâmetro e dureza de 220 HV, medida experimentalmente. A composição química do material, fornecida pelo fabricante,

é apresentada na Tab. (1). A partir dessa barra, foram cortadas duas amostras com 107mm de comprimento. Cada uma das amostras foi pré-usinada para delimitar 04 regiões de usinagem, conforme detalhado na Fig. (1), totalizando 08 amostras.

Tabela 1. Composição química aço SAE 4140 (em % de peso)

C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Fe
0,390	0,870	0,017	0,014	0,320	0,950	0,170	Balanço

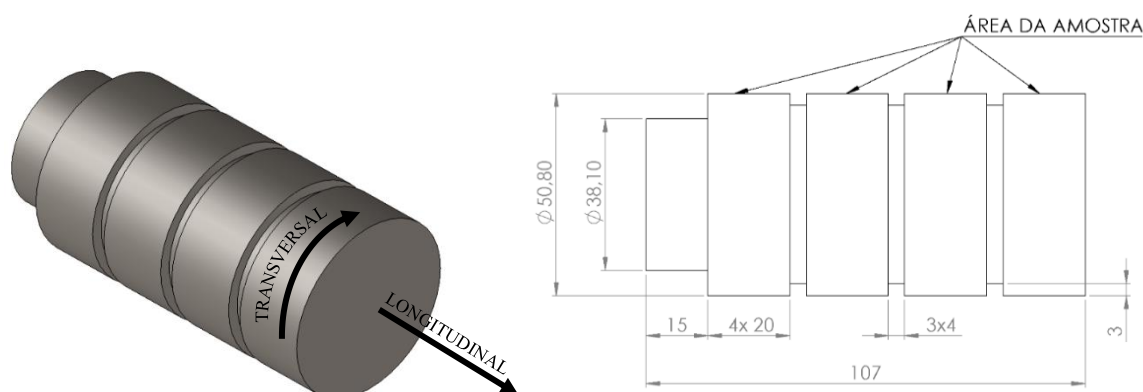


Figura 1. Representação da geometria da amostra (unid. mm).

O torno utilizado nas operações foi o centro de torneamento Romi, modelo Centur 30D, capaz de operar em uma faixa em velocidades entre 4 a 4000 rpm e com potência máxima de 10 CV. Para cada condição de corte foi utilizado um gume cortante, garantindo a uniformidade da aresta de corte e evitando que o desgaste da ferramenta viesse a influenciar nos resultados. Todas as amostras foram usinadas com inserto VBM 160408-PM4325, da Sandvik. A usinagem foi realizada a seco e as condições de corte utilizadas estão apresentadas na Tab. (2). Duas amostras foram usinadas para cada condição.

Tabela 2. Parâmetros de usinagem utilizados.

Condição	Velocidade de corte - V_c [m/min]	Avanço - f [mm/ver]	Profundidade de corte - p [mm]
1	125	0,2	0,2
2	250	0,2	0,2
3	500	0,2	0,2
4	600	0,2	0,2

Para as condições de maior velocidade de corte (500 e 600 m/min), foi realizado um estudo complementar com o intuito de avaliar a influência da profundidade de corte no estado das tensões residuais. Neste caso, foram estudadas mais duas condições e, ao total, foram comparadas 4 condições, conforme apresenta a Tab. (3).

Tabela 3. Condições de corte para estudo de profundidade de corte.

Condição	V_c [m/min]	p [mm]	f [mm/rev]
3	500	0,2	0,2
4	600	0,2	0,2
5	500	0,1	0,2
6	600	0,1	0,2

A medição das tensões residuais foi realizada utilizando um analisador de tensões *Stressrad* (Fig. (2)), do Laboratório de Análise de Tensões (LAT), do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal Fluminense (UFF). A técnica adotada foi a tensometria por difração de raios-X, com duas medições por amostra, sendo elas: longitudinal (L) e transversal (T). Para as medições das amostras foi utilizada radiação $\text{CrK}\alpha$ ($\lambda=2,2809\text{\AA}$), difratando o plano cristalográfico (211) da ferrita, com ângulos de difração de ferrita (2θ) de $156,2^\circ$ e ângulos Ψ de 0° , 21° , 30° , 38° , 45° . O tempo de exposição adotado foi de 45s para cada ângulo Ψ . As medidas realizadas logo após a pré-usinagem mostraram grande heterogeneidade e, por esta razão, foi feito um Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT), em forno à 600°C , por duas horas e resfriamento lento.

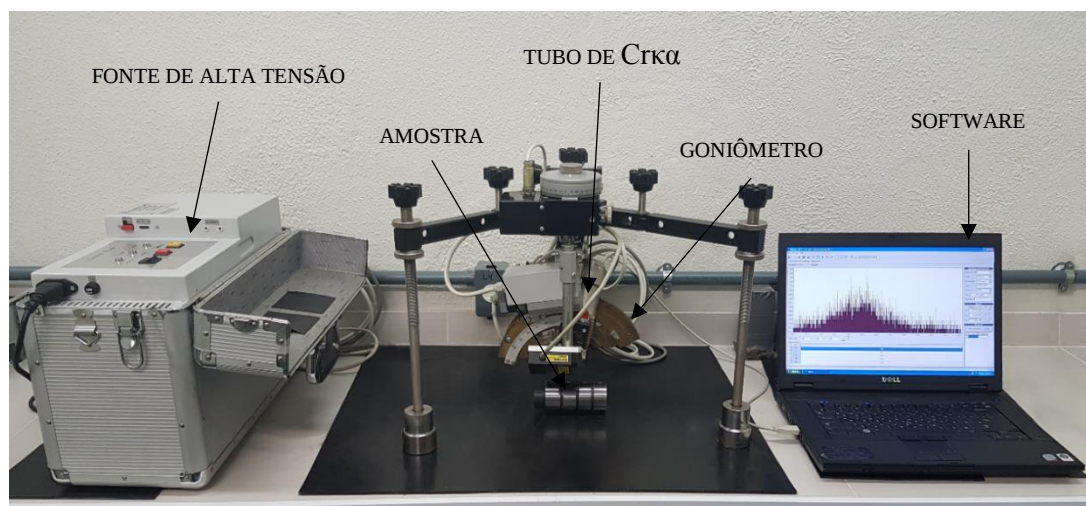


Figura 2. Analisador de tensões por difração de Raios-X da Stressrad.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o tratamento térmico, obteve-se uma média de -14 MPa nas tensões residuais longitudinais (L) e de -12 MPa na direção transversal (T). Após a usinagem das amostras, as tensões residuais foram medidas novamente e a Tab. (4) apresenta os valores obtidos nas condições 1 a 4. O erro de medida é de aproximadamente 15 MPa.

Tabela 4. Valores de Tensões Residuais

Condição	Amostra	Tensão Residual [MPa]	
		Longitudinal (L)	Transversal (T)
1	A	285	261
	B	159	364
2	A	241	366
	B	110	368
3	A	-162	498
	B	179	508
4	A	97	369
	B	125	262

As Figuras (3) e (4) mostram os valores das tensões residuais (TR) nas direções transversal e longitudinal, respectivamente. Com base nos dados, nota-se que o comportamento das TR transversais é homogêneo, aumentando sua magnitude com o aumento da velocidade de corte. Contudo, de acordo com Navas *et al.*, 2012, na condição de altas velocidades de corte (HSC – *High Speed Cutting*), um aumento na velocidade de corte resulta em uma diminuição na magnitude das tensões trativas, o que pode ter ocorrido entre 500 e 600 m/min. Esse fenômeno pode estar relacionado com a diminuição do gradiente térmico com o aumento da velocidade de corte, decorrente do menor tempo de contato entre ferramenta e peça usinada, o que faz com que o efeito da deformação plástica fique mais evidente, resultando em uma tendência compressiva das tensões residuais geradas. Entretanto, na direção longitudinal (direção do avanço), conforme Fig. (4) uma amostra apresenta valor em compressão, que pode ser decorrente de alguma heterogeneidade metalúrgica na região analisada, mas é possível verificar uma tendência à diminuição na magnitude das tensões residuais geradas com o aumento da velocidade de corte.



Figura 3. Tensões residuais na direção transversal.

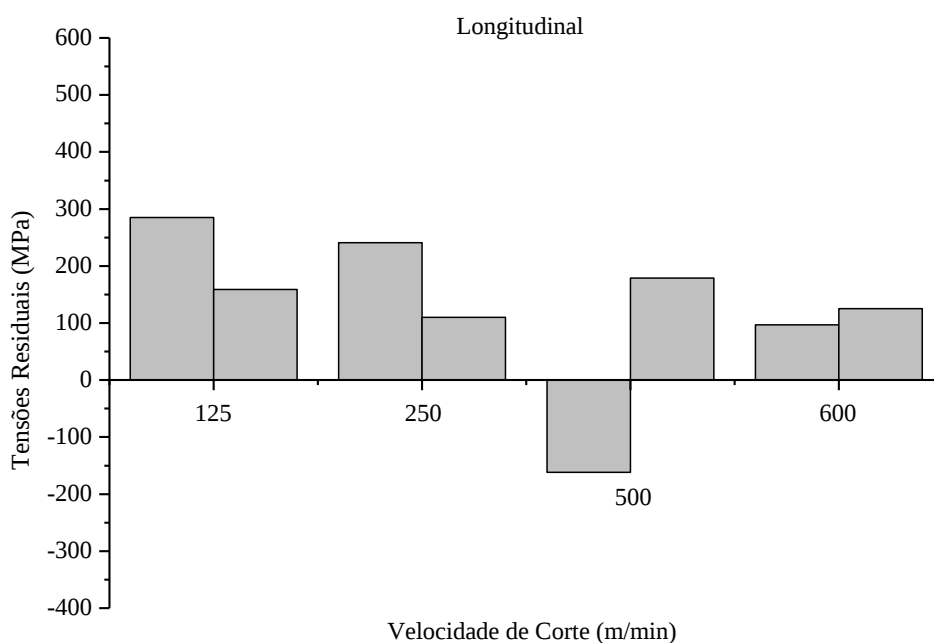


Figura 4. Tensões residuais na direção longitudinal.

Com relação ao efeito da profundidade de corte, para melhor avaliar a relação entre os parâmetros de corte, foi proposta uma análise fatorial 2x2. É possível observar na Fig. (5) que na direção transversal os valores de tensões residuais são maiores para a menor velocidade de corte (500 m/min), independente do valor da profundidade de corte aplicado. Complementarmente, nota-se que com velocidade de corte maior (600 m/min), o aumento da profundidade de corte tende a diminuir os valores das tensões residuais, ou seja, aumenta o efeito da deformação plástica sobre o gradiente térmico, o que não é evidente para velocidades menores.

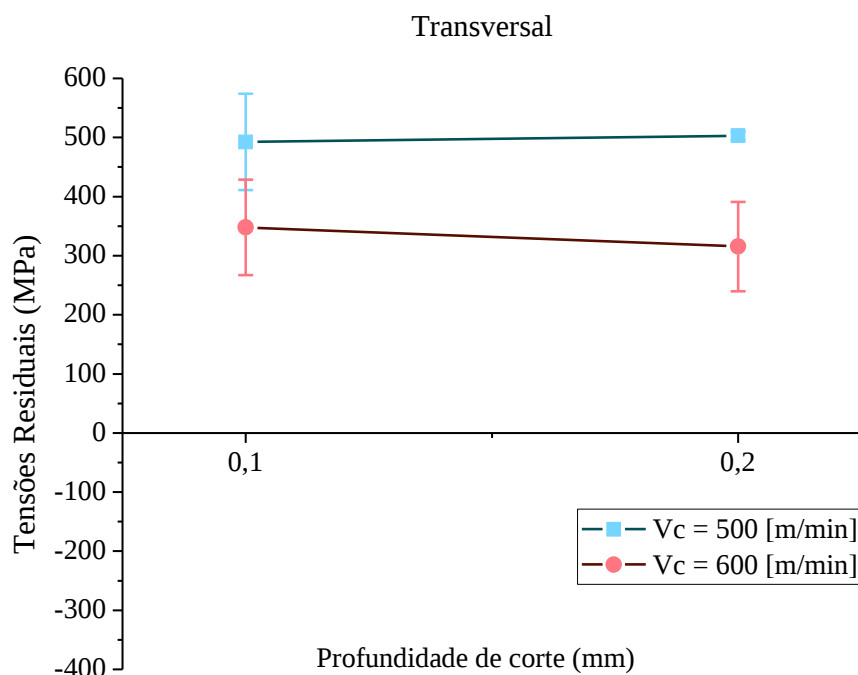


Figura 5. Tensões residuais x profundidade de corte – transversal.

Na Figura (6) nota-se que para as amostras que foram submetidas à menor profundidade de corte há valores de TR em compressão e para a maior profundidade os valores médios de TR são trativos. Analisando esses dados é possível concluir que há uma interação entre os parâmetros de corte estudados (velocidade de corte e profundidade de corte). Contudo, considerando o desvio padrão entre as medidas, não se pode concluir qual a tendência das TR com base nas velocidades de corte na direção longitudinal, pois há muita heterogeneidade nas medidas.

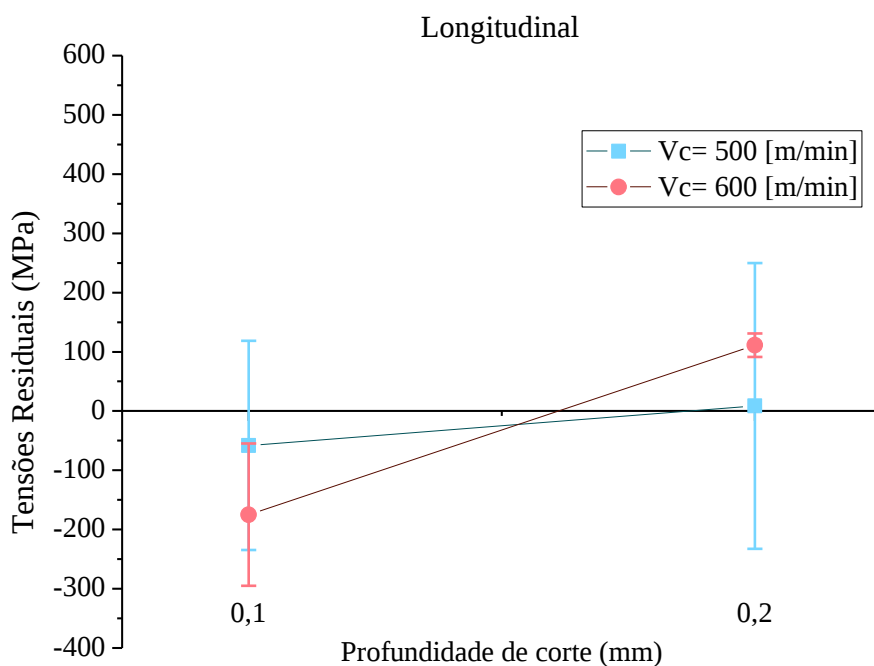


Figura 6. Tensões residuais x profundidade de corte – longitudinal.

4. CONCLUSÕES

O estudo sobre a influência dos parâmetros de corte nas tensões residuais geradas no torneamento do aço SAE 4140, proporcionou as seguintes conclusões:

1. Na direção transversal as tensões residuais apresentaram-se trativas. Contudo, para a velocidade de corte de 600 m/min há uma redução dos níveis de tensão residual em tração, o que condiz com as condições de altas velocidade de corte.
2. Na direção longitudinal foi observado que, para uma mesma profundidade de corte, os valores de tensão residual possuem maior magnitude com menores velocidades de corte.
3. O efeito da profundidade de corte nas tensões residuais transversais não é evidente. Entretanto, observou-se que na direção longitudinal a profundidade de corte tem maior influência na natureza e magnitude das tensões residuais geradas.
4. A velocidade de corte é o parâmetro de corte que teve maior influência nas tensões residuais geradas neste estudo.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPERJ pelo suporte financeiro, que permitiu a realização do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Almer, J.D., Cohen, J.B., Moran, B., 2000, "The Effects of Residual Macro stresses and Micro stresses on the Fatigue Crack Initiation", *Materials Science and Engineering A*, Vol. 284, pp 268-279.
- Aslan, E., Camuscu, N. and Birgören, B., 2007, "Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃ + TiCN mixed ceramic tool," *Materials & Design*, Vol. 28, pp. 1618-1622.
- Capello, E., 2005, "Residual stresses in turning. Part I: Influence of process parameters," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 160, pp. 221-228.
- Chiaverini, V., 1986, "Tecnologia Mecânica - Processos de Fabricação e Tratamento", 2 ed., vol. 2, São Paulo: McGraw Hill.
- Dahlman, P., Gunnberg, F., Jacobson, M., 2004, "The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning", *Journal of materials processing technology*, Vol. 147, pp.181-184.
- Navas, G.V., Gonzalo, O. and Bengoetxea, I., 2012, "Effect of cutting parameters in the surface residual stresses generated by turning in AISI 4340 steel," *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol., pp. 48-57.
- Rasma, E.T., 2015, "Caracterização estrutural e mecânica do Aço AISI/SAE 4140 Tratado sob diferentes Tratamentos Térmicos", Universidade Estadual do Norte Fluminense - UENF, Campos do Goytacazes - RJ.

7. DIREITOS AUTORAIS

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

INFLUENCE OF CUT SPEED ON RESIDUAL STRESSES GENERATED IN TURNING OF SAE 4140 STEEL

Matheus Patrick Soares Barbosa¹, mpatrick.barbosa@gmail.com
Reissel Reis de Souza¹, reisreissel@gmail.com
Geraldo Lima¹, geraldoslimaf@outlook.com
Maria Cindra Fonseca², mcindra@vm.uff.br
Tatiane de Campos Chuvas¹, tatiane.chuvas@cefet-rj.br

¹Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

²Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica/PGMEC, Rua Passo da Pátria, 156, Bl. D, CEP 24210-240 – Niterói, RJ, Brasil.

Abstract: *The presence of residual stresses generated in all manufacturing processes is one of the main problems encountered in the metal-mechanical industry because residual tensile stresses have a deleterious effect on the materials, reducing fatigue life and resistance to stress corrosion of the same. Though, surface tensions of compressive nature offer benefits, mainly, as a barrier for the propagation of cracks. In this way, the study of these stresses is fundamental to ensure the structural integrity of the metallic components and structures. The search for manufacturing processes that reduce the time required for mechanical production is one of the factors that justify the technological advance obtained in the machining processes, especially in relation to the cutting speed applied. In this work, an experimental study was conducted on the influence of the cutting speeds on the nature and magnitude of the residual stresses generated in SAE 4140 steel turning. The surface residual stresses was measured by X-ray diffraction. The results showed that transversal residual stresses was trative, which could be harmful in service. However, for higher cutting speeds, lower magnitudes of residual stresses were obtained.*

Keywords: residual stresses, turning, SAE 4140, cut speed