

COMPORTAMENTO DAS TENSÕES RESIDUAIS GERADAS NO TORNEAMENTO DE UM AÇO AISI H13

Tatiane de Campos Chuvás¹, chuvass@vm.uff.br

Maria P. Cindra Fonseca¹, mcindra@vm.uff.br

Juan Manuel Pardal¹, juanpardal@vm.uff.br

Wallace Palmeira dos Reis¹, wallsoad@gmail.com

Anna Carla Araujo², anna@mecanica.ufrj.br

¹Departamento de Engenharia Mecânica/PGMEC – Escola de Engenharia, UFF – Universidade Federal Fluminense, Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ, Brasil. E-mail: mcindra@vm.uff.br

²Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Resumo: *O controle das tensões residuais geradas nos processos de fabricação é de grande importância, pois a vida em fadiga do componente pode ser severamente influenciada, conforme a natureza e magnitude das tensões internas remanescentes do processamento da peça. Tensões residuais trativas na superfície das peças são indesejáveis, pois contribuem para a redução da vida em fadiga. O presente trabalho apresenta um estudo das tensões residuais oriundas do torneamento de amostras de aço ferramenta AISI H13 usando diferentes velocidades de corte. Em todos os regimes de corte empregados as tensões residuais apresentaram-se trativas, sendo mais elevadas na direção longitudinal. As tensões foram medidas (na superfície e em profundidade) por difração de raios-X, pelo método de dupla exposição. Foram feitos ainda ensaios de dureza Vickers e caracterização microestrutural do material por microscopia óptica.*

Palavras-chave: Tensões residuais. Aço H13. Usinagem. Difração de raios-X

1. INTRODUÇÃO

Os aços ferramenta são complexas ligas metálicas, contendo quantidades relativamente grandes de tungstênio, molibdênio, vanádio, manganês, e/ou cromo, que tornam possíveis suportar as crescentes severidades de serviço presentes nos processos de conformação a quente, onde são amplamente usados (Davis et al, 1994). Aços para trabalho a quente têm sido desenvolvidos para resistir às combinações de aquecimento, pressão, e abrasão associadas com puncionamento, cisalhamento, ou conformação de metais em altas temperaturas. Os aços do grupo H têm geralmente médios teores de carbono (0,35 a 0,45%) e são ligados ao cromo, tungstênio, molibdênio e vanádio em teores que variam de 5 a 25%. Eles são divididos em aços para trabalho a quente ao cromo, ao tungstênio e ao molibdênio.

O AISI H13 é um aço ferramenta para trabalho a quente ao cromo dos mais utilizados para fabricação de matrizes de fundição sob pressão e de forjamento. Ele possui alta tenacidade, boa resistência em altas temperaturas e elevada dureza, sendo assim usado para a fabricação de inúmeros tipos de ferramentas. Devido à sua extrema dureza e baixa condutividade térmica, quando usinado a altas velocidades de corte este aço pode ser suscetível a danos superficiais e desgaste acelerado em consequência das altas temperaturas e tensões do processo (Umer et al, 2008).

As tensões residuais (TR) são tensões auto-equilibradas existentes nos materiais em condições de temperatura uniforme e sem carregamento externo (Macherauch & Kloos et al, 1987). Elas estão presentes em praticamente todas as peças rígidas, metálicas ou não e são o produto da história metalúrgica e mecânica de cada ponto da peça ou da peça como um todo, durante o processo de fabricação (Cindra Fonseca et al, 2000). As tensões residuais geradas pela usinagem de um determinado material dependem do material da peça usinada, do tipo e geometria da ferramenta e dos parâmetros de corte, tais como, velocidade, avanço e profundidade (Capello et al, 2005). No torneamento, as tensões residuais são provenientes, basicamente, das deformações plásticas heterogêneas, tendo como origens as forças de corte que atuam sobre a peça, aquecimento não uniforme da peça pelo calor produzido na usinagem e a possíveis variações volumétricas devido às mudanças de fase do material (Wyatt, 2006; Zeilmann, 2008). A utilização de fluidos de corte tendem a minimizar as tensões residuais trativas resultantes, principalmente, dos efeitos térmicos na zona de corte.

O presente trabalho teve como objetivo o estudo das tensões residuais geradas no torneamento convencional de um aço H13, com diferentes velocidades de corte e o comportamento das tensões através da profundidade da camada atingida pelo torneamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foi estudado um aço AISI H13, fabricado pela Gerdau – Aços Especiais Piratini, em forma de barra laminada redonda, sem acabamento, com 50,8mm de diâmetro e 304mm de comprimento. A composição química do material, fornecida pelo fabricante, está apresentada na Tab. (1).

Tabela 1. Composição química do aço AISI H13 (% em peso).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V
0,39	0,36	1,01	0,017	0,005	5,06	1,20	0,87

O material foi fornecido na condição de temperado e revenido em altas temperaturas, com dureza de 528HV. Da barra redonda foram cortadas quatro amostras cilíndricas de 70mm de comprimento. Cada amostra foi numerada de 1 a 4, sendo que cada lado foi nomeado de A (lado com a face marcada) e B, Fig. (1), perfazendo 8 amostras no total. Cada amostra foi fixada para usinagem em pontos definidos para evitar o mascaramento dos resultados pela compressão das castanhas.

As análises do material na condição como-recebido foram feitas por microscopia óptica utilizando um microscópio óptico da marca Zeiss, modelo Neophot 32. Na mesma condição foi realizado ensaio de dureza Vickers, através de um total de 12 indentações distribuídas pela superfície da amostra, com aplicação de carga de 30 kgf em superfície polida da amostra, durante 25 segundos.

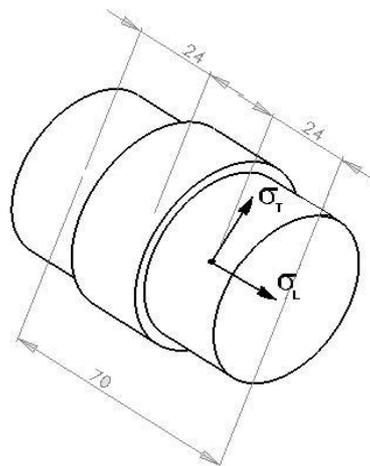


Figura 1 – Desenho esquemático das amostras estudadas.

A usinagem das amostras foi realizada em um torno modelo Mascote MS 205 fabricado pela Nardini, com um inserto de metal duro de geometria rômica para acabamento da Sandvik Coromant, modelo DCMT 11T304 PM 4225 e emulsão, na proporção de 10%, como fluido de corte.

As tensões residuais foram medidas após a usinagem, por difração de raios-X, usando um equipamento portátil, pelo método da dupla exposição, Fig. (2), com radiação $CrK\alpha$, sendo que o tempo de exposição para cada medição foi de aproximadamente 8 minutos. A incerteza da medição é de ± 15 MPa. As medidas foram feitas em duas direções, longitudinal (L) e transversal (T).

Considerando que os resultados das tensões residuais obtidos após a usinagem inicial do material como-recebido foram muito discrepantes, foi realizado um tratamento térmico (TT) de normalização, em forno elétrico por resistência, a uma temperatura de 860°C por 3 horas, seguido de resfriamento lento no forno. As amostras foram mergulhadas em carvão em pó, a fim de impedir a decarbonetização das superfícies tratadas. O tratamento térmico foi feito a fim de obter um material de fácil usinagem, praticamente isento de tensões residuais, que permitisse o estudo do comportamento das tensões geradas no torneamento. As tensões residuais foram medidas nas amostras normalizadas, que foram novamente usinadas, com os mesmos parâmetros usados no torneamento anterior. Após a usinagem, as tensões residuais foram novamente medidas e, em duas das amostras, com velocidade de corte diferentes, as tensões foram medidas em profundidade para produzir um perfil do comportamento das tensões residuais através da camada atingida pelo torneamento.

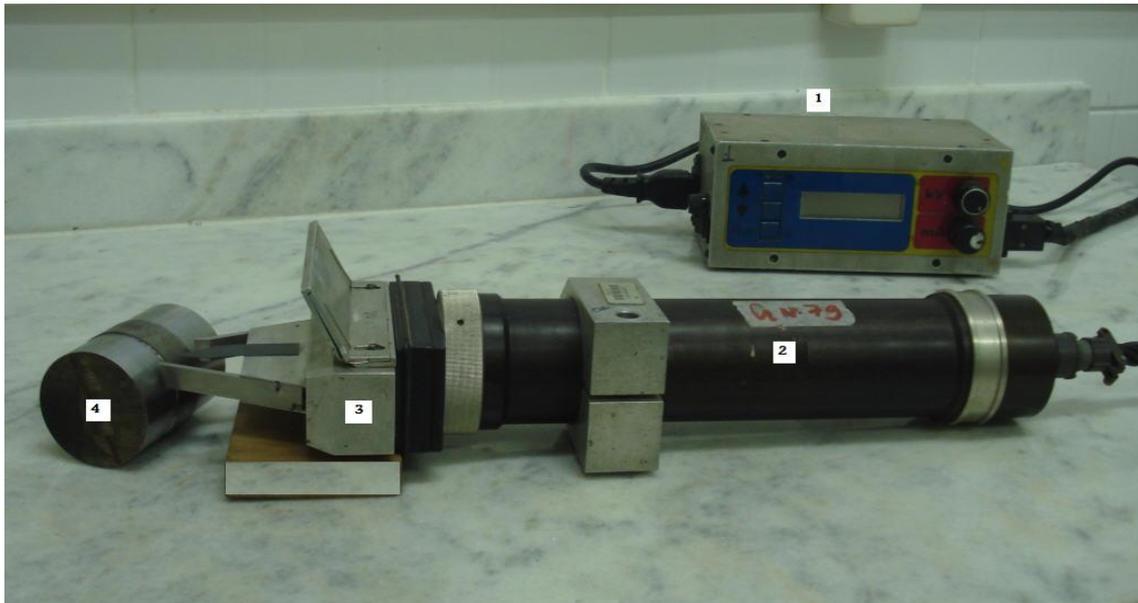


Figura 2 – Equipamento medidor portátil de tensões por difração de raios-X, composto de (1) unidade de controle de tensão e corrente; (2) tubo de raios-X com radiação $CrK\alpha$; (3) colimador e (4) amostra analisada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Metalografia Óptica

Na análise por microscopia do material na condição como-recebido foi observada uma microestrutura característica de martensita revenida em altas temperaturas, onde os pontos escuros são carbonetos precipitados, como mostrado na Fig. (3). Esta microestrutura assemelha-se bastante a aquela obtida por Neves et al (2006) para materiais que sofreram têmpera e foram submetidos a vários tratamentos de revenido (semelhante em alguns aspectos ao revenido em altas temperaturas).

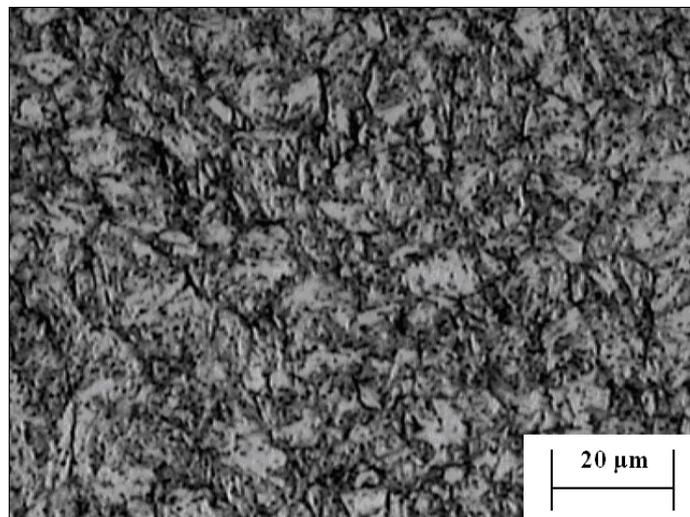


Figura 3 – Microestrutura do aço analisado na condição como-recebido.

Após a normalização foi observada uma microestrutura ferrítica com carbonetos precipitados, Fig. (4). Essa mudança na microestrutura do material já era esperada em virtude do tratamento térmico utilizado para homogeneizar as amostras.

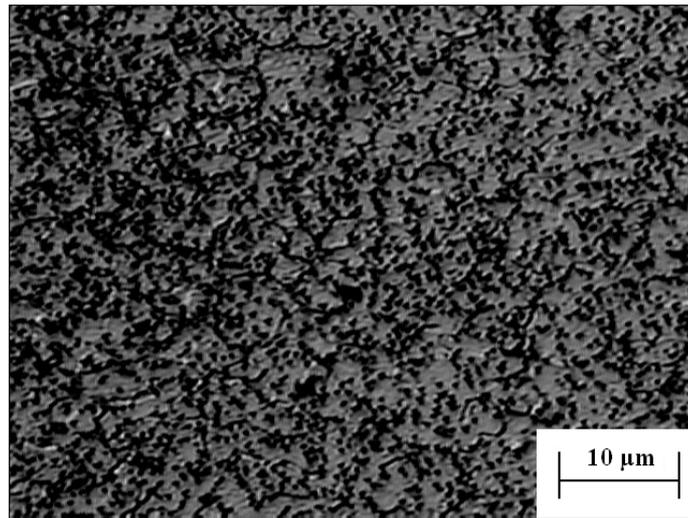


Figura 4 – Microestrutura do aço analisado na condição normalizado.

3.2. Dureza

No ensaio de dureza Vickers, após 12 indentações, foi obtido um valor médio de dureza de 528 HV, o que aponta para um material temperado e revenido em altas temperaturas como também mostra a metalografia.

Após o tratamento de normalização um novo ensaio de dureza foi realizado com 6 indentações. O valor médio de dureza obtido foi de 209 HV que sugere uma mudança microestural para matriz ferrítica, como visto na metalografia.

3.3. Tensões Residuais

Na Tabela (2), são mostrados os valores das tensões residuais, medidos nas amostras de aço AISI H13, após o tratamento térmico de normalização e em seguida ao torneamento. No torneamento das amostras foram usadas diferentes velocidades de corte, enquanto que os demais parâmetros, ou seja avanço e profundidade de corte foram mantidos constantes e com valores iguais a 0,053 mm/rot e 0,5mm, respectivamente.

Os valores das tensões residuais após a normalização, em ambas as direções, longitudinal e transversal, estão apresentados nas Fig. (5) e (6). É possível depreender dos resultados mostrados na Tab. (2) e nas Fig. (5) e (6) que o tratamento térmico de normalização foi eficiente para a homogeneização das tensões residuais presentes na superfície das amostras, que apresentaram valores discrepantes nas medições realizadas no material como-recebido e após a usinagem, nas mesmas peças.

Tabela 2. Tensões residuais.

Amostra	Velocidade de Corte (m/min)	TR após TT de Normalização (MPa)	TR após Torneamento inicial (MPa)		TR após Torneamento (MPa)	
			Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
2B	130	10	340	310	330	380
4A	130	10	310	350	310	350
2A	200	10	170	310	300	310
4B	200	-10	350	270	350	270
3A	260	-10	330	270	320	270
1A	260	10	370	210	370	210
3B	400	10	390	440	390	210
1B	400	-10	380	180	380	200

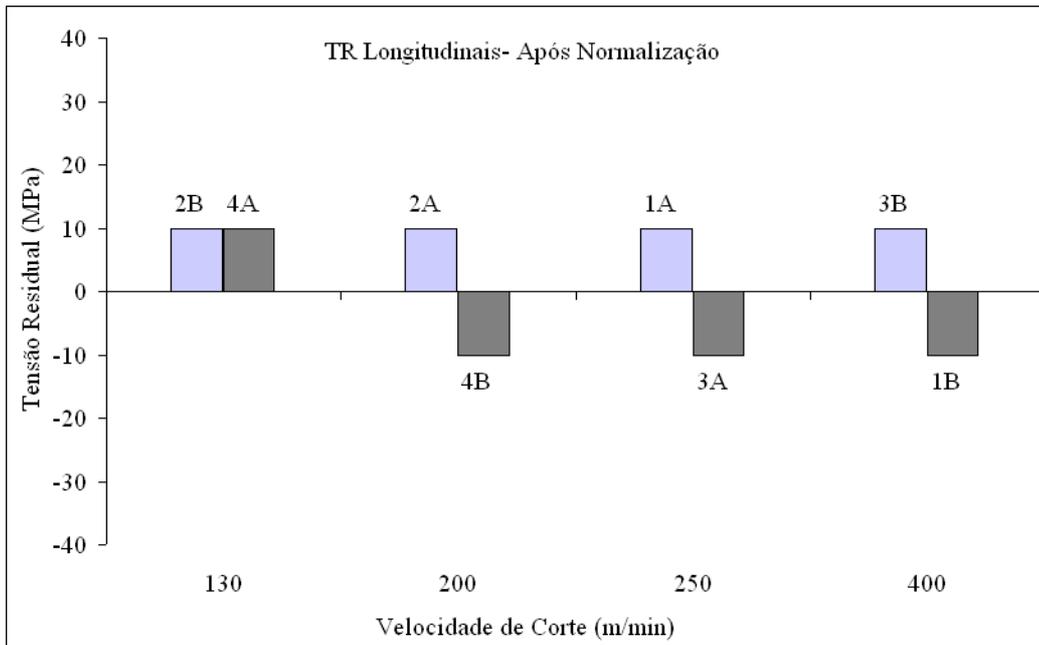


Figura 5 – Tensões residuais longitudinais após normalização.

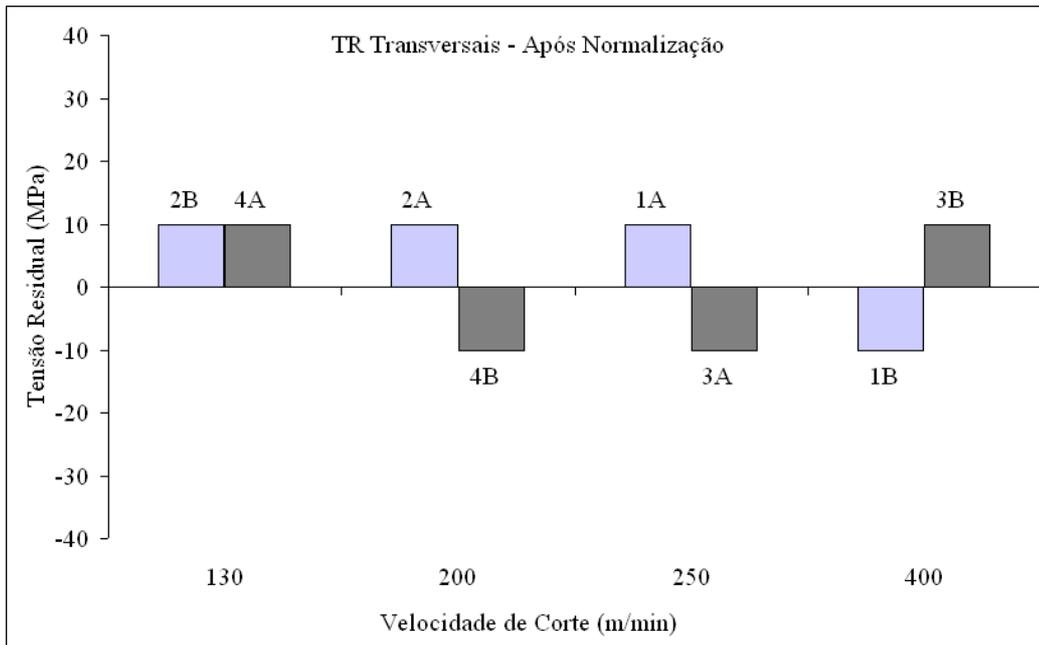


Figura 6 – Tensões residuais transversais após normalização.

Os gráficos das Fig. (7) e (8) mostram a variação das tensões residuais com a velocidade de corte no torneamento, em ambas as direções, longitudinal e transversal. As tensões longitudinais (na mesma direção do avanço da ferramenta de corte) apresentaram elevados valores em tração para todas as velocidades de corte utilizadas, sendo que as tensões de maiores magnitudes (cerca de 400MPa) foram obtidas em todas as amostras usinadas na condição de maior velocidade empregada (400m/min).

O comportamento das tensões residuais na direção transversal foi o oposto ao ocorrido na direção longitudinal, com relação ao aumento da velocidade de corte: na condição de maior velocidade empregada (400m/min) as tensões residuais geradas foram as menores (cerca de 200MPa).

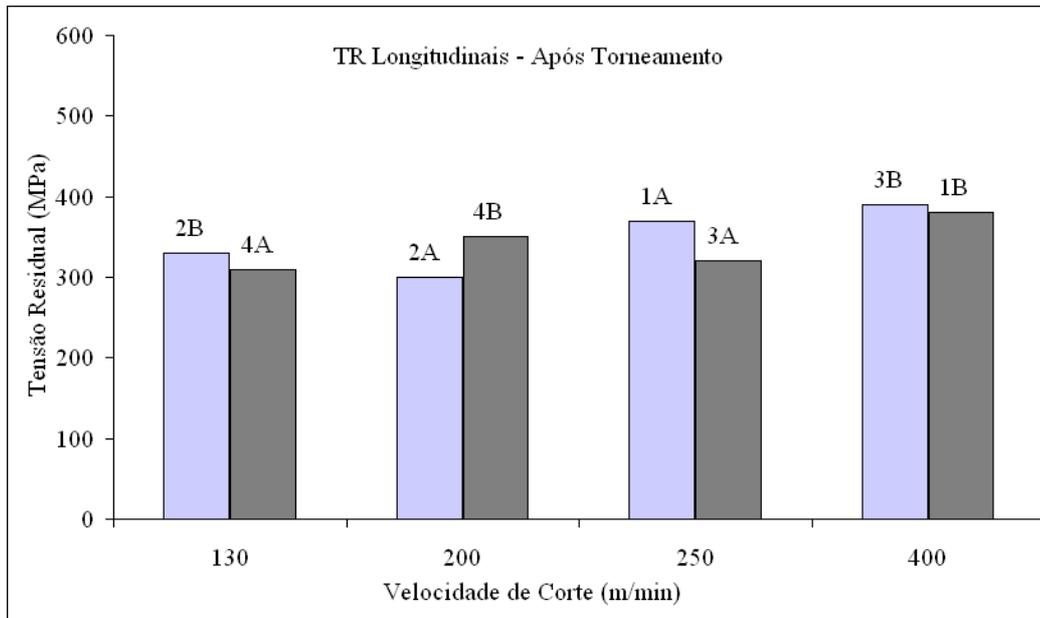


Figura 7 – Tensões residuais longitudinais após torneamento.

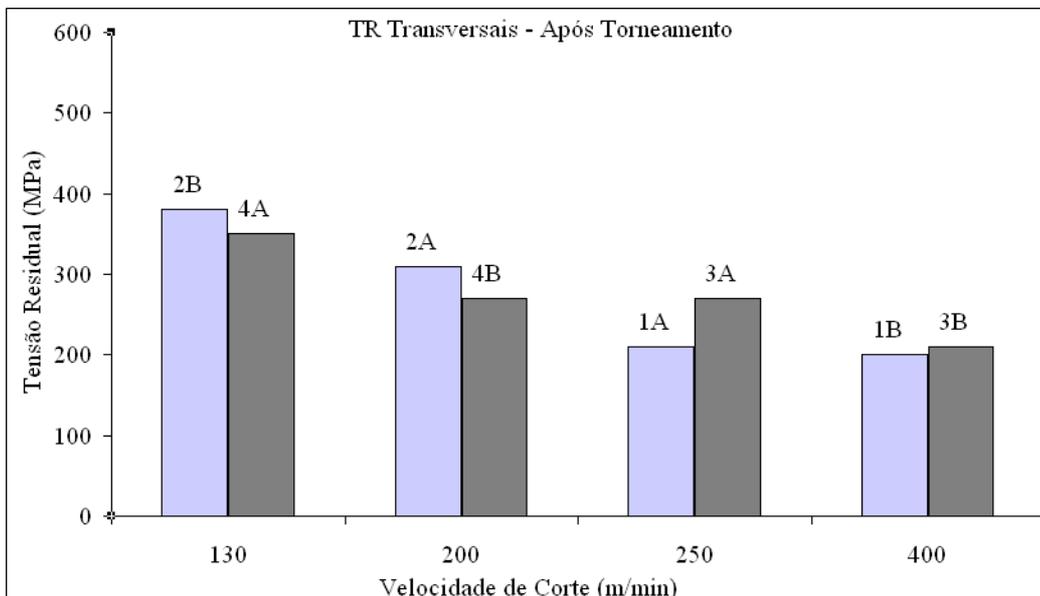


Figura 8 – Tensões residuais transversais após torneamento.

Os elevados valores de tensões residuais trativas, obtidos em condições de torneamento em velocidades de corte mais altas, poderiam ser atribuídos ao efeito térmico, que é tão mais expressivo, quanto maiores são as velocidades empregadas. Entretanto, com o uso de fluidos de corte a quantidade de calor gerada na zona de corte é drasticamente diminuída e, assim sendo, não explicaria o aumento das tensões geradas. No trabalho realizado em fresamento de amostras de aço H13, Zeilmann et al., (2008) também obtiveram elevados valores de tensões residuais trativas, tanto na direção longitudinal, quanto na transversal, usando velocidades de corte similares às do presente trabalho.

Nas Figura (9) podemos observar a diferença do perfil das tensões residuais em profundidade entre as amostras amostras 3B e 4B. Na amostra 4B, com menor velocidade de corte (200m/min), a maior magnitude de compressão foi atingida em 50 μ m e permaneceu no estado compressivo por pelo menos 100 μ m de profundidade. Ao contrário, na amostra 3B, usinada em velocidade mais elevada (400 m/min), o pico de compressão é mais superficial (25 μ m) e o estado trativo é atingido novamente antes dos 100 μ m de profundidade. Esse fato pode ser caracterizado pelo menor tempo de contato da ferramenta de corte com a peça, pois em regimes de velocidade menores este contato é maior e deve redundar na introdução de tensões residuais compressivas.

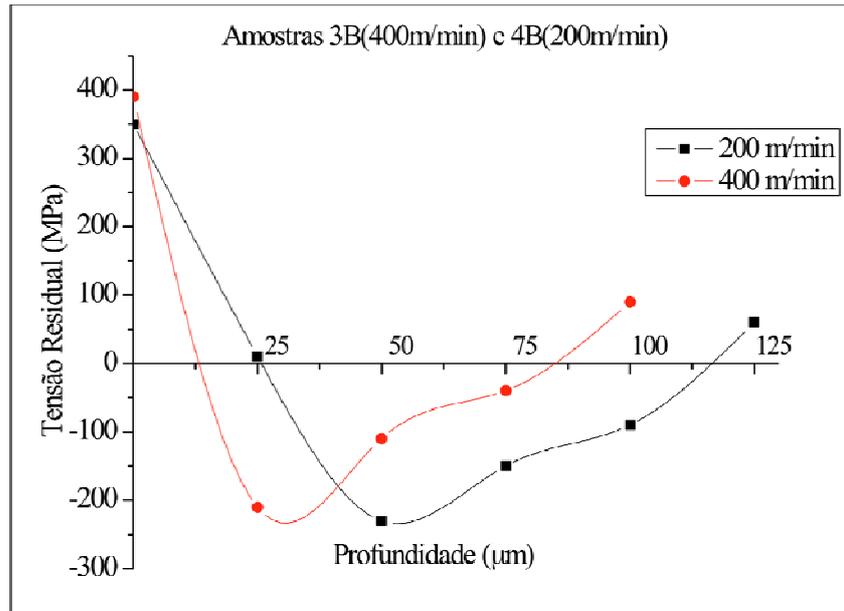


Figura 9 – Perfil de profundidade das tensões residuais das amostras 3B e 4B.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho, que analisou a geração de tensões residuais no torneamento de um aço ferramenta H13, permite as seguintes conclusões:

- 1) As tensões residuais geradas pelo torneamento foram de tração em todas as amostras estudadas. Sendo que as tensões de maior magnitude foram encontradas na direção longitudinal.
- 2) As condições de corte com o emprego de velocidades mais elevadas causou aumento nas tensões longitudinais na mesma direção do avanço da ferramenta de corte, que atingiram valores de cerca de 400MPa.
- 3) O tratamento térmico de normalização realizado modificou a microestrutura do aço, tornando-a ferrítica com carbonetos e, conseqüentemente a dureza do material foi reduzida em 60%, o que o torna impróprio para aplicação como aço ferramenta.
- 4) A velocidade de corte influenciou a profundidade da camada atingida pelo torneamento, sendo que para maior velocidade de corte (400m/min) as tensões trativas da superfície tornam-se compressivas a uma menor profundidade (25μm), enquanto que com velocidade de corte de 200m/min atingem valores mais elevados em compressão a 50μm e permanecem compressivas até pelo menos 100μm de profundidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à Capes e à Faperj pelo apoio financeiro que possibilitou a realização do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Capello E. (2005), Residual stresses in turning Part I: Influence of process parameters, *Journal of Materials Processing Technology* 160, pp. 221–228.
- Capello, E. (2004); Residual stresses in turning – Part I: Influence of process parameters. *Journal of Materials Processing Technology*.
- Cindra Fonseca, M. P. (2000), Evolução do Estado de Tensões Residuais em Juntas Soldadas de Tubulação durante Ciclos de Fadiga. Tese D. Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Cindra Fonseca, M. P. et al. (2008) Estudo das tensões residuais geradas na usinagem por fresamento de amostras de aço superduplex. In: V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, Salvador-BA.
- Davis, J. R. (1994), *Surface Engineering of Specialty Steels*. ASM Handbook Surface engineering. v. 5.
- Macherauch, E. (1987); KLOOS, K. H., *Origin, Measurements and Evaluation of Residual Stress in Science and Technology*. Ed. by Macherauch, V. Hauk, DGM VERLAG.
- Neves, E. M.; ALBANI, J.; Vurobi JR, S.; Cintho, O. M. (2006) “Caracterização Metalográfica de um Aço AISI H13 por meio de Metalografia Convencional e Contraste por Interferência Diferencial (DIC)”. 17º CBECIMat 2006.
- Umer, U.; XIE, L.J.; Wang, X.B. (2008); Análise da usinabilidade do aço H13 usando materiais avançados de ferramenta. *Máquinas e Metais*.

Wyatt, J.E.; Berry, J.T. (2006); A new technique for the determination of superficial residual stresses associated with machining and other manufacturing processes. *Journal of Materials Processing Technology*.
Zeilmann, R. P; Tomé, Alfredo; Calza, D. C.; Barghini, M. V. R. (2008), Caracterização da integridade de peças usinadas. In: CbeciMat 2008, Porto de Galinhas-PE.

7. DIREITOS AUTORAIS

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



VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA
VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING
18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil
August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil

BEHAVIOR OF RESIDUAL STRESS AFTER TURNING MACHINING OF A AISI H13 STEEL

Maria P. Cindra Fonseca¹
Juan Manuel Pardal¹
Tatiane de Campos Chuvas¹
Wallace Palmeiras dos Reis¹
Anna Carla Araujo²

¹Departamento de Engenharia Mecânica/PGMEC – Escola de Engenharia – Universidade Federal Fluminense (UFF), Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ, Brasil. E-mail: mcindra@vm.uff.br

² Departamento de Engenharia Mecânica – DEM/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Abstract: *The control of residual stresses generated by manufacturing processes is an important knowledge, as the tool life of the components can be severely affected depending on the nature and magnitude of internal stresses remained. Tensile residual stresses on the surface of a component are generally undesirable, because they can contribute to fatigue failure. This paper presents a study on residual stress after turning AISI H13 on different cutting speeds. In the experiments, the residual stresses have been measured using the X-ray diffraction technique by the double exposure method. All machined pieces presented induced residual stress is tensile in both directions: transverse and longitudinal, this one with higher levels. Vickers hardness and light optical microscopy were made for characterization of material.*

Keywords: *Residual Stresses, H13 steel, Turning machining, X-ray diffraction.*