

ANÁLISE FUNCIONAL DA INTEGRIDADE SUPERFICIAL NO PROCESSO DE TORNEAMENTO DURO DO AÇO ABNT 8620 CEMENTADO ATRAVÉS DA SUA MEDIÇÃO TOPOGRÁFICA SUPERFICIAL

Adalto de Farias, adalto.farias@poli.usp.br¹
Sergio Delijaicov, sergiode@fei.edu.br²
José Daniel Biasoli de Mello, ltm-demello@ufu.br³
Marco Stipkovic Filho, kovic@osite.com.br¹
Gilmar Ferreira Batalha, gilmar.batalha@poli.usp.br¹

¹ Escola Politécnica - USP, Dept. Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Laboratório de Engenharia de Fabricação Av. Prof. Mello Moraes, 2231- CEP 05508900 - São Paulo, SP - Brasil; Telefone: (11) 30915763 Fax: (11) 30915461.

² Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros. Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972, Bairro Assunção, CEP 09850-901 - S. Bernardo do Campo, SP - Brasil; Tel.: (11) 43532900 R.: 2059

³ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica. Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica - Bloco 1M, CEP 38400-902, Uberlândia, MG - Brasil, Telefone: (34) 3239 4148, Fax: (34) 3239 4206

Resumo: Este trabalho tem a intenção de contribuir com informações sobre a condição superficial resultante do processo de torneamento em material endurecido de componentes mecânicos fabricados em aço cementado. A superfície foi analisada através de parâmetros obtidos do mapeamento tridimensional da topografia superficial com instrumento de interferometria laser. Os parâmetros de rugosidade selecionados para medição visaram uma caracterização funcional das superfícies obtidas, tais como capacidade de carga, capacidade de retenção de fluidos lubrificantes e resistência ao desgaste.

Palavras-chave: Integridade superficial, torneamento duro, rugosidade 3-D.

1. INTRODUÇÃO

As superfícies são por natureza entidades físicas em três dimensões (3-D) e, por conseguinte, os fenômenos de superfície relacionados ocorrem em três dimensões. Por exemplo, a interação entre duas superfícies em contato realiza-se no âmbito de toda a interface, a interação entre uma superfície áspera e o fluxo de um fluido também ocorre tridimensionalmente (Batalha e Stipkovic, 2001). Stout et al (1993), descreveram e análise de superfícies baseadas em medição 3-D como abordagem mais realista e eficaz para a compreensão de fenômenos superficiais. Uma medição por perfilometria 2-D apresenta a rugosidade da superfície em um plano somente, é eficiente onde a superfície é estritamente uniforme e os padrões são perpendiculares ao plano de medição perfilométrico. Contudo tal suposição gera dúvidas, pois em um processo real de usinagem muitos são os parâmetros que podem causar distorções na condição final da superfície. A perfilometria 2-D é útil, por ser um método de aquisição de dados mais veloz, no caso em que já é conhecido o comportamento da superfície, e o erro em função da generalização do perfil obtido pela medição 2-D para todo o restante da superfície não causa perda de desempenho no componente. Para uma caracterização isenta de suposições e tendências, a medição da topografia 3-D da superfície é a mais indicada para estudos científicos. Recentemente Waikar e Guo (2008) executaram um estudo aprofundado na caracterização de superfícies usinadas pelo processo de torneamento em materiais endurecidos onde ressaltaram as limitações do uso da perfilometria 2-D.

A intenção deste trabalho é apresentar os parâmetros de rugosidade obtidos com a medição da topografia tridimensional resultante do torneamento de componentes mecânicos fabricados em aço ABNT 8620 cementados, na dureza de 700HV (58-62HRC) e camada média de 1,0 mm. A caracterização funcional das superfícies obtidas, tais como capacidade de carga e capacidade de retenção de fluidos lubrificantes foi analisada através de parâmetros baseados na Curva da Área de Carregamento (Griffiths, 2001), obtidos do mapeamento tridimensional da superfície com o auxílio de um equipamento por interferometria laser. Além destes parâmetros foram levantados também parâmetros básicos utilizados por muitos pesquisadores (Stout et al, 1993), que são os parâmetros de dispersão Desvio Médio Aritmético da Superfície (S_a) e Desvio Médio Quadrático da Superfície (S_q). Ambos possuem forte correlação (Waikar e Guo, 2008), não obstante seu uso geral carecer de significado funcional, apresentando apenas significado estatístico. Em complemento a estes dois parâmetros foi levantado o valor para a Assimetria da Distribuição das Alturas da Topografia (S_{sk}), e a Curtose da Distribuição das Alturas da Topografia (S_{ku}).

1.1. Parâmetros de Rugosidade

- S_a : Desvio Médio Aritmético da Superfície, que é definido como sendo a média aritmética dos valores absolutos dos picos e vales da superfície partindo de um plano médio dentro de uma área de amostragem.
- S_q : Desvio Médio Quadrático da Superfície é definido como sendo a média quadrática dos valores absolutos dos picos e vales da superfície partindo de um plano médio dentro de uma área de amostragem
- S_{sk} : Assimetria da Distribuição das Alturas da Topografia.
Este parâmetro descreve efetivamente o formato da distribuição das alturas da topografia. Para uma superfície com distribuição Gaussiana, que possui simetria de distribuição, o parâmetro S_{sk} é igual a zero. Para uma distribuição assimétrica das alturas seu valor pode ser negativo indicando a existência de mais vales ou positivo indicando existência de mais picos.
Um valor negativo na Assimetria da Distribuição das Alturas da Topografia S_{sk} indica uma melhor condição de retenção de fluídos e melhor capacidade de carregamento, portanto melhor desempenho.
- S_{ku} : Curtose da Distribuição das Alturas da Topografia.
Uma superfície com distribuição Gaussiana, caracterizada por sua simetria, o parâmetro S_{ku} é igual a três, para acumulo de alturas na localização central da distribuição seu valor é maior do que três e para alturas largamente espalhadas na distribuição o valor é menor do que três. Valores superiores a três na Curtose indicam superfícies com picos mais finos, mais susceptíveis ao desgaste prematuro, e valores inferiores a três indicam superfícies com menor tendência ao desgaste prematuro.

A Fig. 1 apresenta a Distribuição de picos e vales de rugosidade e Parâmetros Funcionais Baseados na Curva da Área de Carregamento.

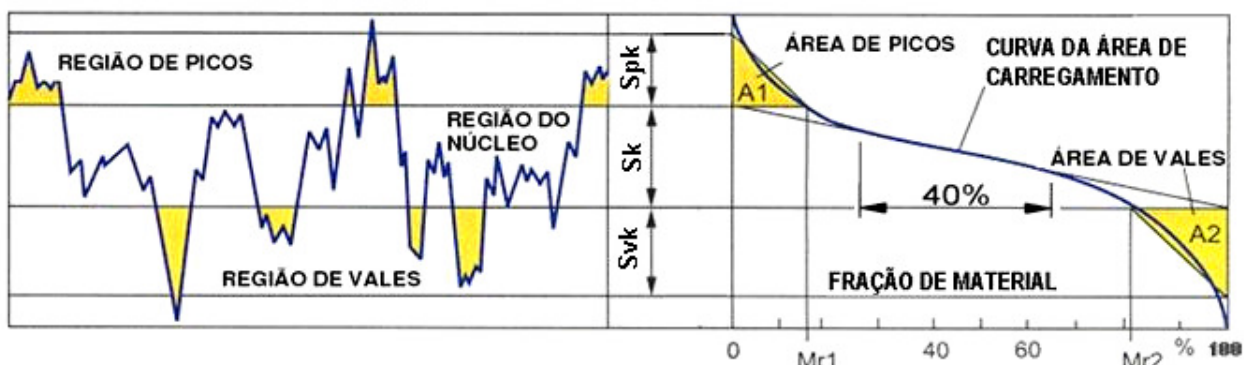


Figura 1. Parâmetros Funcionais Baseados na Curva da Área de Carregamento (Mummary, 1992)

- S_{pk} : Altura Reduzida do Pico e é definida na norma ISO 13565-2 (1996) como a altura média dos picos acima do perfil da rugosidade do núcleo. Ela representa a porção da superfície que sofrerá desgaste prematuro. Processos que produzam baixos valores para este parâmetro são ideais para onde a geometria do produto deva ser mantida após o início de operação do componente.
- S_k : Profundidade da Rugosidade do Núcleo e é definida na norma ISO 13565-2 (1996) como a profundidade da rugosidade do núcleo do perfil. Ela caracteriza o desgaste em longo prazo da superfície, que vai influenciar o desempenho operacional da superfície. Valores baixos para este parâmetro indicam maior capacidade de carga durante operações de contato.
- S_{vk} : Profundidade reduzida do Vale e é definida na norma ISO 13565-2 (1996) como a profundidade média do perfil dos vales projetados além do perfil da rugosidade do núcleo. Ele caracteriza a capacidade de retenção de fluídos dos vales da superfície. Valores altos indicam maior capacidade de retenção de fluídos lubrificantes.
- M_{r1} e M_{r2} : Porções do Material da Superfície: definidas na norma ISO 13565-2 (1996) como a porção do material determinado pela intersecção da linha que separa as alturas dos picos do perfil da rugosidade do núcleo e a porção do material determinado pela intersecção da linha que separa o perfil dos vales projetados além do perfil da rugosidade do núcleo. Estes dois parâmetros são expressos em porcentagens.

Para determinar a influência dos parâmetros de corte na caracterização da rugosidade superficial obtida, foi empregado o método da análise de variância (ANOVA) com 95% de nível de confiança.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram investigados corpos de prova retirados de peças reais usinadas em condições convencionais para produção em massa. Os itens utilizados no experimento foram:

- 36 corpos de prova de aço ABNT 8620 (DIN 21 NiCrMo 2) cementados na dureza de 700HV (58-62HRC) e camada média de 1mm, sendo 6 réplicas para cada par Velocidade de corte e taxa de avanço;
- Inseto de cBN com 50% de volume em matriz de liga TiC; Raio de ponta 0.8mm, geometria wiper ou multi-raio (Grzesik ,2008);
- Suporte: CTJNL2525M11, ângulos de ferramenta: ângulo de posição da ferramenta $\chi_r = 93^\circ$; ângulo de inclinação da ferramenta $\lambda_s = -6^\circ$; ângulo de saída da ferramenta $\gamma_o = -6^\circ$ (Fig. 2);
- Máquina: Centro CNC de torneamento INDEX MC400;
- A usinagem dos corpos de prova foi conduzida a seco;
- Os parâmetros de corte utilizados são apresentados na Tab. 1, sendo (V_c) velocidade de corte em m/min e (f) taxa de avanço em mm/rot e profundidade de corte constante (a_p) em mm:

Tabela 1. Dados de corte da usinagem.

	V_c	f	a_p
	[m/min]	[mm/rot]	[mm]
Condição 1	180	0.05	0.18
Condição 2	180	0.08	0.18
Condição 3	180	0.12	0.18
Condição 4	200	0.05	0.18
Condição 5	200	0.08	0.18
Condição 6	200	0.12	0.18

Para cada mudança no par velocidade de corte e taxa de avanço foi trocada a ponta do inserto, portanto para todas as análises não foi considerado o desgaste da ferramenta.

Para aquisição dos dados da topografia superficial 3-D foi empregado um interferômetro laser Microfocus Expert IV, da UBM Corporation, os dados das topografias foram tratados e analisados com o auxílio do software Mountains Map Universal versão 3.1.9 (Demo) da empresa Digital Surf. A Fig. 3 apresenta o interferômetro laser utilizado.

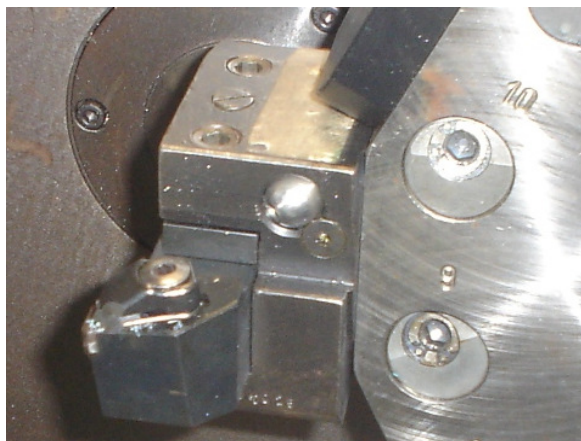


Figura 2. Ferramenta montada na torre do torno.

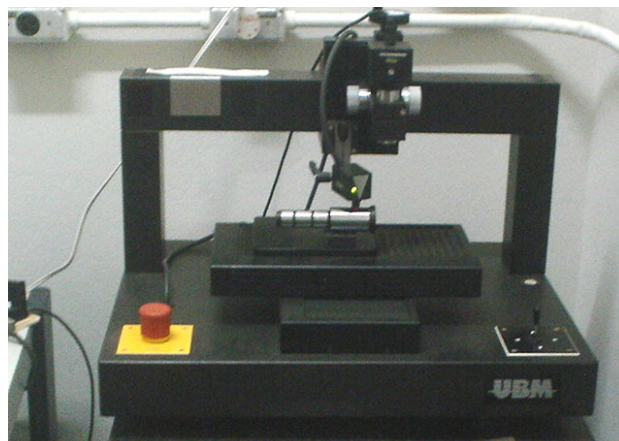


Figura 3. Interferômetro laser para a medição da topografia 3-D.

3. RESULTADOS

3.1. Caracterização da Topografia Superficial 3-D

As topografias 3-D das peças usinadas nas condições do ensaio são apresentadas nas Figuras 4 a 9. O mapeamento 3-D das superfícies revela uma natureza anisotrópica comum para o processo de torneamento. Devido à característica do corte com aresta única do torneamento a superfície é composta por picos e vales bem definidos. A análise gráfica da topologia é especialmente importante nos casos onde o processo ou as características finais não são totalmente conhecidos. Determinadas características são mais facilmente observadas visualizando-se o padrão da superfície mapeada ao invés da abstração de um parâmetro somente. Exemplo do pressuposto anteriormente é a possibilidade de visualizar a influência do avanço no número de picos/vales para a mesma área mapeada nas Fig. 1 a Fig. 6.

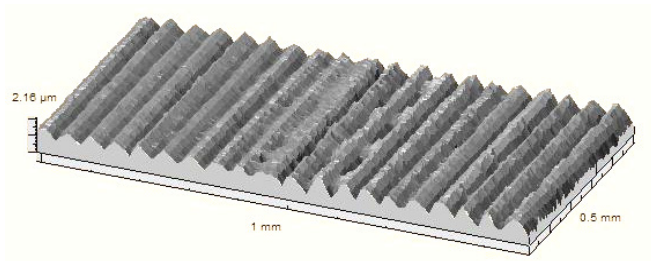


Figura 4. Topografia da superfície usinada com $V_c = 180$ m/min e $f = 0,05$ mm/rot.

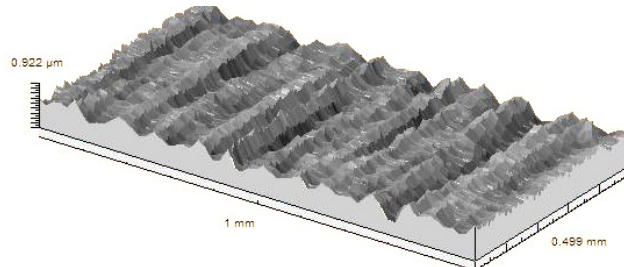


Figura 5. Topografia da superfície usinada com $V_c = 180$ m/min e $f = 0,08$ mm/rot.

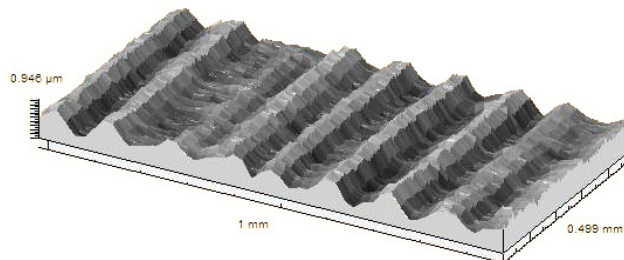


Figura 6. Topografia da superfície usinada com $V_c = 180$ m/min e $f = 0,12$ mm/rot.

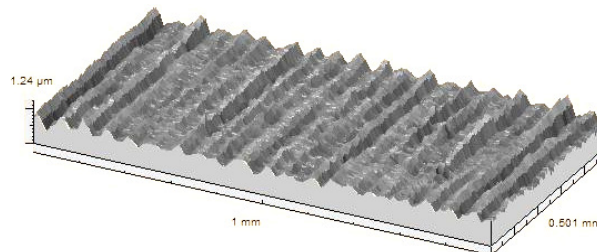


Figura 7. Topografia da superfície usinada com $V_c = 200$ m/min e $f = 0,05$ mm/rot.

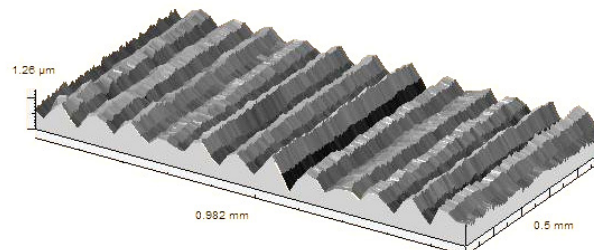


Figura 8. Topografia da superfície usinada com $V_c = 200$ m/min e $f = 0,08$ mm/rot.

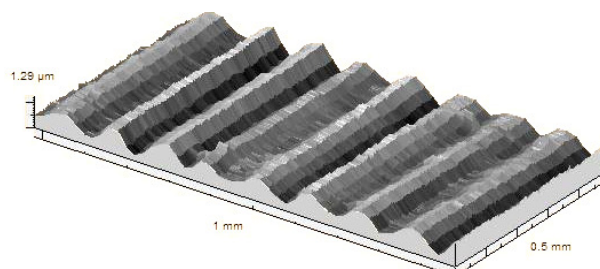


Figura 9. Topografia da superfície usinada com $V_c = 200$ m/min e $f = 0,12$ mm/rot.

3.2. Parâmetros de Amplitude

As Fig. 10 e Fig. 11 apresentam valores das rugosidades S_a e S_q obtidas em função da combinação V_c e f utilizados no experimento, as barras indicam o desvio padrão.

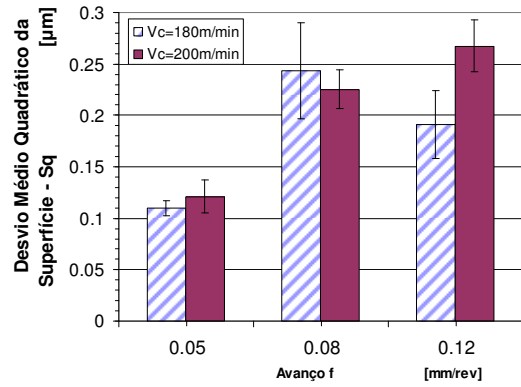
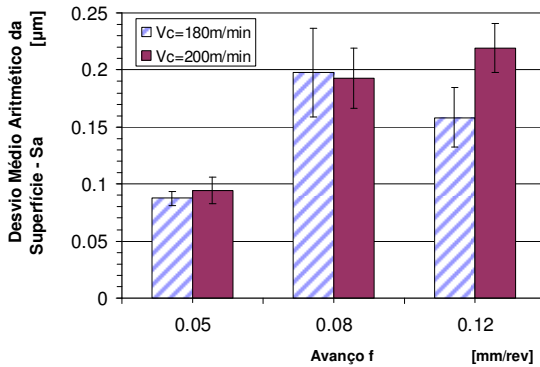


Figura 10. Desvio Médio Aritmético da Superfície - S_a . Figura 11. Desvio Médio Quadrático da Superfície - S_q

3.3. Parâmetros Funcionais de Forma

As Figs. 12 e 13 apresentam os valores das rugosidades S_{sk} e S_{ku} obtidas em função da combinação V_c e f utilizados no experimento, junto aos valores estão indicados pelas barras o desvio padrão.

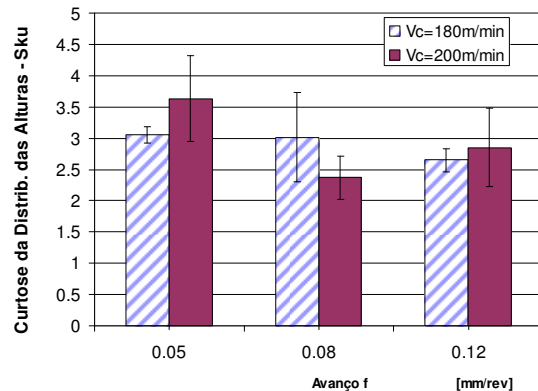
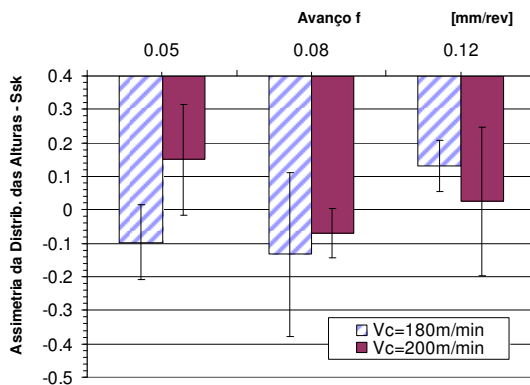


Figura 12. Assimetria da Distribuição das Alturas S_{sk}

Figura 13. Curtose da Distribuição das Alturas S_{ku}

2.1.4. Parâmetros Funcionais da Distribuição das Alturas Baseados na Curva da Área de Carregamento

As Figs. 14 a 18 apresentam os valores para as rugosidades S_{pk} , S_k e S_{vk} e as porções de material da superfície M_{r1} e M_{r2} , obtidas em função da combinação V_c e f utilizados no experimento, junto aos valores estão indicados pelas barras o desvio padrão.

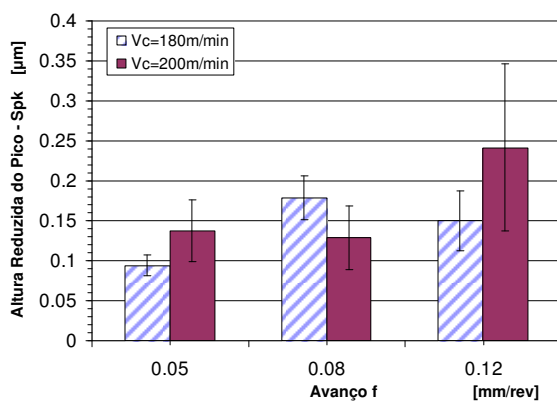


Figura 14. Altura Reduzida do Pico S_{pk}

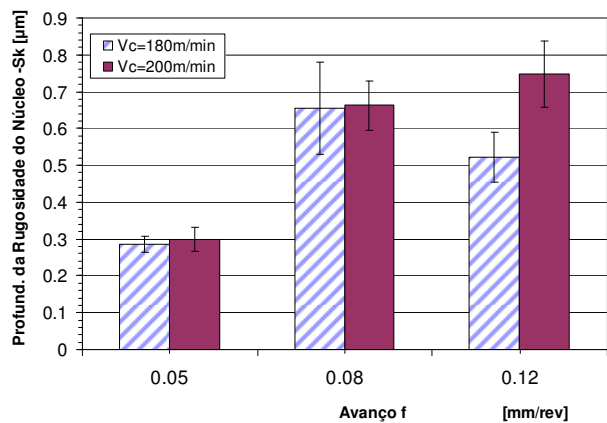
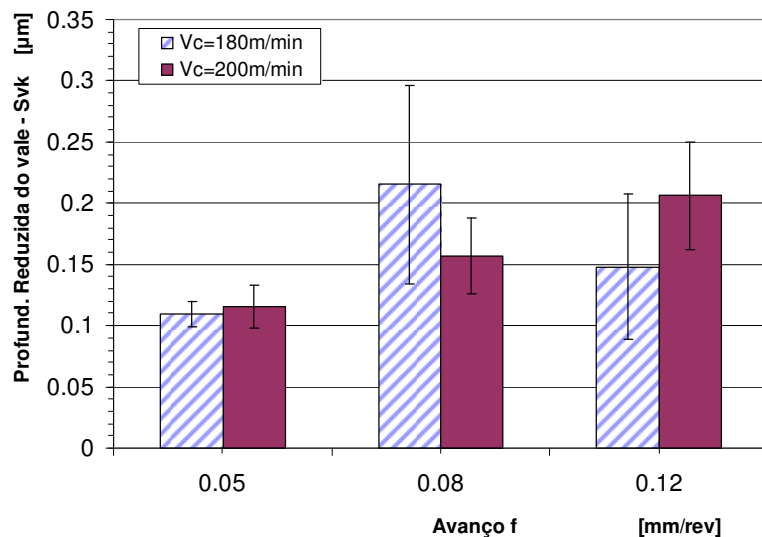
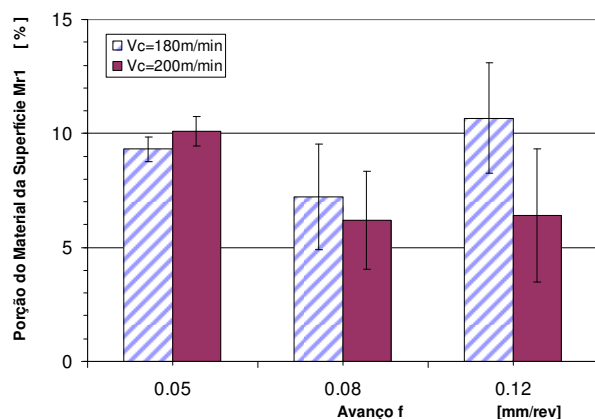
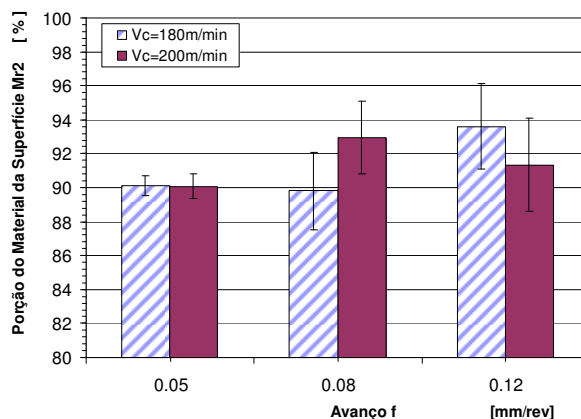


Figura 15. Profundidade da Rugosidade do Núcleo S_k

Figura 16. Profundidade reduzida do Vale S_{vk} Figura 17. Porção do Material da Superfície M_{r1} Figura 18. Porção do Material da Superfície M_{r2}

4. DISCUSSÃO

O uso de inserto de geometria multi-raio (Grzesik ,2008) pode ter influenciado os resultados, pois se verifica a tendência de valores com menor resultado em todas as condições (a exceção do parâmetro Curtose da Distribuição das Alturas S_{ku} e Porção do Material da Superfície M_{r2}). Uma análise com geometria convencional pode ser executada para averiguação da significância da influência da geometria de ponta nos resultados da rugosidade superficial. Recentemente Grzesik (2008) executou análise com geometria convencional e multi-raio onde classifica e apresenta resultados de rugosidade para as duas condições, inclusive na presença de desgaste.

Ozel et al (2007) também faz uma análise com o inserto wiper e menciona que os valores de rugosidade atingidos com este tipo de geometria de ponta são melhores. Os resultados obtidos na medição das rugosidades superficiais apresentam coerência com resultados de outros autores, portanto a técnica utilizada neste experimento em material endurecido é capaz de produzir superfícies com funcionalidade e qualidade.

A Tabela 2 apresenta o resultado da análise de variância (ANOVA) da medição topográfica superficial em função das variáveis taxa de avanço (f em mm/rot) e velocidade de corte (V_c em m/min).

Baseado na análise do valor de probabilidade “valor-P” para $\alpha=0,05$, o teste de variância com 95% de nível de confiança, indicou que o avanço f é a variável mais significativa entre as interações com os parâmetros: Rugosidade Média - S_a , Rugosidade Média Quadrática - S_q , Altura Reduzida de Pico - S_{pk} , Profundidade Reduzida de Vale S_{vk} , Profundidade da Rugosidade do Núcleo - S_k , Curtose - S_{ku} e Assimetria - S_{sk} . Em segundo lugar a interação entre as duas variáveis f e V_c também mostraram significância com todos os parâmetros de rugosidades. A velocidade de corte V_c se apresenta significativa nos parâmetros S_a , S_q e S_k , não mostrando significância para os demais.

A Tabela 3 apresenta as comparações entre os resultados dos parâmetros funcionais. São apresentados também os valores de referência para cada parâmetro apresentado. Como a taxa de avanço é a variável mais significativa, utilizou-se a média entre os valores encontrados para as duas condições de velocidade de corte.

Tabela 2. Resultados ANOVA para topografia superficial.

S_a : Desvio Médio Aritmético da Superfície					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	0.0817	2	0.0409	69.2815	0.0000
VC	0.0040	1	0.0040	6.7062	0.0147
f & VC	0.0074	2	0.0037	6.2466	0.0054
S_q : Desvio Médio Quadrático da Superfície					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	0.1088	2	0.0544	71.6062	0.0000
VC	0.0048	1	0.0048	6.3665	0.0172
f & VC	0.0138	2	0.0069	9.1087	0.0008
S_{ku} : Curtose da Distribuição das Alturas da Topografia					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	3.1252	2	1.5626	6.0076	0.0064
VC	0.0196	1	0.0196	0.0754	0.7856
f & VC	2.3346	2	1.1673	4.4878	0.0197
S_{sk} : Assimetria da Distribuição das Alturas da Topografia					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	0.2064	2	0.1032	3.8590	0.0323
VC	0.0426	1	0.0426	1.5915	0.2168
f & VC	0.1872	2	0.0936	3.5002	0.0430
S_{pk} : Altura Reduzida do Pico					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	0.0386	2	0.0193	7.0719	0.0030
VC	0.0071	1	0.0071	2.6071	0.1169
f & VC	0.0311	2	0.0155	5.6979	0.0080
S_{vk} : Profundidade reduzida do Vale					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	0.0388	2	0.0194	8.7375	0.0010
VC	0.0000	1	0.0000	0.0145	0.9048
f & VC	0.0204	2	0.0102	4.6010	0.0181
S_k : Profundidade da Rugosidade do Núcleo					
Variável	SS	df	MS	F	valor-P
f	1.0063	2	0.5032	88.4461	0.0000
VC	0.0605	1	0.0605	10.6373	0.0028
f & VC	0.0925	2	0.0462	8.1295	0.0015

Tabela 3 – Resumo dos valores dos parâmetros de caracterização da topografia superficial

Parâmetros	f = 0,05 mm/rotação	f = 0,08 mm/rotação	f = 0,12 mm/rotação	Melhor condição funcional
S_a (μm)	0,09	0,19	0,19	-
S_q (μm)	0,12	0,23	0,23	-
S_{sk}	0	-0,1	0,09	Valor < 0
S_{ku}	3,4	2,7	2,8	Valor < 3
S_{pk} (μm)	0,12	0,16	0,24	Valores baixos
S_k (μm)	0,29	0,66	0,65	Valores baixos
S_{vk} (μm)	0,12	0,19	0,18	Valores baixos
M_{r1} (%)	9,5	6,5	8,7	-
M_{r2} (%)	90	91	93	-

5. CONCLUSÕES

A integridade superficial de componentes mecânicos cementados usinados com o processo de torneamento de material endurecido foi classificada através da análise de sua topografia superficial. A análise dos parâmetros funcionais da curva da área de carregamento indica que a superfície resultante possui boa área de contato, boa capacidade de carregamento e razoável capacidade de retenção de fluídos uma vez que o valor do parâmetro S_{sk} não apresentou valores negativos para todos os valores testados.

Uma observação deve ser feita a parâmetros com grande dispersão nos resultados que são eles: Assimetria da Distribuição das Alturas S_{sk} e os parâmetros da Curva da Área de Carregamento S_{pk} , S_{vk} , M_{r1} e M_{r2} . São parâmetros muitos sensíveis a qualquer variação na condição da superfície e refletem isto em uma grande dispersão quando dimensionados, provocando muitas vezes ambigüidade (Batalha e Stipkovic, 2001) na correlação funcional de seus resultados.

O teste de variância com 95% de nível de confiança indicou que a taxa de avanço (f em mm/min) é a variável mais significativa entre as interações com os parâmetros S_a , S_q , S_{pk} , S_{vk} e S_k , os parâmetros S_{ku} , S_{sk} mostraram baixa interação com a taxa de avanço.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à empresa Polimold Industrial S/A pelo fornecimento dos corpos de prova e o incentivo à pesquisa, à empresa Seco Tools do Brasil pela disponibilização dos equipamentos e das ferramentas aplicadas neste experimento e à Universidade Federal de Uberlândia na medição das topografias 3-D.

7. REFERÊNCIAS

- Batalha, G. F., Stipkovic Filho, M., 2001, Quantitative Characterization of the Surface topography of cold rolled sheets - new approaches and possibilities. Journal of Materials Processing Technology, Dublin - Irlanda, 113, 1, 732-8.
- Griffiths, B., 2001, Manufacturing Surface Technology, London, Penton Press, pp. 233.
- Grzesik, W., 2008, Influence of tool wear on surface roughness in hard turning using differently shaped ceramic tools, Wear, 265, pp 327-335.
- Ozel, T., Karpat, Y., Figueira, L. e Davim, J.P., 2007, Modelling of surface finish and tool flank wear in turning of AISI D2 steel with ceramic wiper inserts, Journal of Materials Processing Technology, 189, pp 192-198.
- Stout, K. J., Sullivan, P.J., Dong, W.P., Mainsah, E., Luo, N., Mathia, T. e Zahouani, H., 1993, The development of methods for the characterization of roughness in three dimensions, University of Birmingham, Inglaterra, University of Birmingham Press, pp 359.
- Waikar, R.A. e Guo, Y.B., 2008, A comprehensive characterization of 3-D surface topography induced by hard turning versus grinding, Journal of Materials Processing Technology, 197, pp 189-199.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

SURFACE INTEGRITY FUNCTIONAL ANALYSIS IN HARD TURNING ABNT 8620 CASE HARDENED THROUGH SURFACE TOPOGRAPHICAL MEASUREMENTS

Adalto de Farias, adalto_farias@yahoo.com.br¹
Sergio Delijaicov, sergiode@fei.edu.br²
José Daniel Biasoli de Mello, ltm-demello@ufu.br³
Marco Stipkovic Filho, kovic@osite.com.br¹
Gilmar Ferreira Batalha, gilmar.epusp@gmail.com¹

¹ Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. Laboratório de Engenharia de Fabricação - Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária, CEP 05508900 - São Paulo, SP - Brasil; Telefone: (11) 30915763 Fax: (11) 30915461.

² Centro Universitário da Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros. Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972, Bairro Assunção, CEP 09850-901 - S. Bernardo do Campo, SP - Brasil; Tel.: (11) 43532900 R.: 2059

³ Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica. Av. João Naves de Ávila, 2160, Campus Santa Mônica - Bloco 1M, CEP 38400-902, Uberlândia, MG - Brasil, Telefone: (34) 3239 4148, Fax: (34) 3239 4206

Abstract:

This work aims to contribute with information on the resulting surface condition from hard turning process of mechanical components manufactured from carburized steel. The surface was examined by parameters obtained from the surface topography three-dimensional mapping with an interferometric laser instrument. The selected roughness parameters analysis intends to have a functional characterization such as bearing capacity, fluid and lubricants retention ability and contact wear resistance.

Keywords: Hard turning, Surface Integrity, 3-D roughness