

INTEGRIDADE SUPERFICIAL DO AÇO ENDURECIDO AISI H13 APÓS FRESAMENTO

Sergio Delijaicov, sergiode@fei.edu.br¹

Éd Claudio Bordinassi, ecb@maua.br²

Gilmar Ferreira Batalha, gilmar.batalha@poli.usp.br³

¹ Dept. de Engenharia Mecânica – Centro Universitário da FEI Fundação Educacional Inaciana Pe. Sabóia de Medeiros Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 –Bairro Assunção - São Bernardo do Campo, SP – 09850.901

² Departamento de Engenharia Mecânica – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia – CEUN -IMT, Praça Mauá, 01 - São Caetano do Sul, SP – 09580.900

³ Laboratório de Engenharia de Fabricação – Dept. de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - São Paulo – SP – 05508.970

***Resumo:** Este trabalho pesquisou a correlação existente entre os parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço, profundidade de usinagem) e a qualidade superficial, as tensões residuais e a formação de camada branca, no fresamento do aço AISI H13 endurecido à 54 HRC, utilizando-se ferramentas de nitreto cúbico de boro policristalino (PCBN). Os experimentos seguiram um planejamento estatístico com delineamento composto central. Efetuou-se a medida das forças de corte através de um dinamômetro tri-direcional acoplado ao centro de usinagem com aquisição de sinais através do sistema HBM Spider e software Catman. Para medições das tensões residuais, utilizou-se o método do furo cego incremental, com posterior interpretação dos dados com o método da integral utilizando o software H-Drill. Foram encontradas tensões residuais com valores máximos de compressão de – 200 MPa e mínimos de tração de 9 MPa. A maioria dos corpos de prova apresentaram tensões residuais compressivas na superfície, que posteriormente tendiam a alcançar valores trativos. A rugosidade média das superfícies usinadas foi de 0,12 µm [Ra], comparável com as obtidas por retificação ou mesmo lapidação. O fenômeno de camada branca não foi constante, e apareceu apenas em uma amostra usinada.*

***Palavras-chave:** Fresamento, integridade superficial, tensões residuais, aço H13 endurecido*

1. INTRODUÇÃO

Usinagem em material endurecido tem atraído grande interesse desde a década de 70, pois é uma alternativa aos processos convencionais de retificação em usinagem de precisão e em componentes de dureza elevada. Seu uso reduz significativamente o tempo de produção, custos de ferramentas e o capital investido para diversas aplicações, além de diminuir os custos de manufatura, diminuir o tempo de produção e melhorar a qualidade dos produtos (Rech, et al., 2008). Além das inúmeras vantagens, o processo de usinagem em duro induz tensões de compressão na peça, que aumenta a vida à fadiga do componente (Zhang et al., 2009). No caso da usinagem de peças de aços endurecidos, em uma produção seriada, as operações de acabamento através do torneamento, no intuito de evitar o processo de retificação, reduzem consideravelmente o tempo e os custos de fabricação, possibilitando, em alguns casos, a redução desses dois fatores em até 60% (Momper, 2000).

O termo “integridade superficial” foi citado pela primeira vez em 1964 (Field & Kahles, 1964) e foi finalmente reconhecido oficialmente como um campo de pesquisa em 1971 durante a 21ª assembléia geral do CIRP (Field et al. 1971, 1972, 1989). A integridade superficial é a medida da qualidade de peças usinadas, interpretada em função dos elementos que descrevem a estrutura da superfície e do substrato do material (M’Saoubi et al 2008 e Astakhov, 2010). Geralmente é definida pelas propriedades metalúrgicas, químicas e topológicas da superfície, como rugosidade, microestrutura, micro-dureza e mudanças nas tensões residuais (Jang et al., 1996 e Matsumoto et al., 1986).

Tensão residual é definida como a tensão que existe em um corpo elástico mesmo depois de removidas as cargas externas, e usinagem envolvem grandes deformações plásticas com altas taxas de deformação (Jang et al., 1996). Já El-Axir (2002) a define como o resultado de eventos mecânicos e térmicos que ocorrem na superfície do material durante a usinagem.

Camada branca é o resultado de uma alteração microestrutural na estrutura martensítica. É chamada de camada branca, pois aparece nesta cor sob microscopia óptica (Poulachon et al., 2005). A geração da camada branca e sua

quantificação indicam a quantidade de energia trazida para peça. Ela pode ser prejudicial para a vida à fadiga, uma vez que é dura e quebradiça e pode ser associada com tensões residuais de tração (Ramesh et al., 2005).

Existem três teorias principais para a formação de camadas brancas: (i) rápido aquecimento e resfriamento, que resulta em transformação microestrutural, (ii) altas taxas de deformação plástica, que produzem uma estrutura homogênea ou com tamanho de grão reduzido, e (iii) reação da superfície com as condições de contorno do processo.

A rugosidade superficial tem grande influência na integridade superficial dos produtos e seu controle na maioria das peças fabricadas, principalmente em peças endurecidas.

O objetivo deste trabalho é estudar a influência dos parâmetros de corte na integridade superficial do aço AISI H13, temperado e revenido após a operação de fresamento.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os corpos de prova preparados para os ensaios eram um quadrado de 80 mm x 26 mm de altura, temperados e revenidos. A dureza média das peças foi de 54 HRc.

A Tabela (1) mostra a composição química dos corpos de prova.

Tabela 1. Composição química dos corpos de prova de AISI H13

C (%)	Mn (%)	P máx (%)	S máx (%)	Si (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)
0,32 - 0,45	0,20 - 0,60	0,03	0,03	0,80 - 1,25	4,75 - 5,50	1,10 - 1,75	0,80 - 1,20

Após o corte do material todos os corpos de prova foram desbastados com os mesmos parâmetros de corte para garantir uniformidade nos ensaios.

A Tabela (2) mostra os parâmetros utilizados nos ensaios depois de realizado o planejamento experimental composto central.

Tabela 2. Planejamento experimental realizado

Peça	v_c (m/min)	f (mm/volta)	a_p (mm)	v_f (mm/min)
1	150	0,05	0,08	190
2	150	0,05	0,16	190
3	150	0,1	0,08	380
4	150	0,1	0,16	380
5	210	0,05	0,08	265
6	210	0,05	0,16	265
7	210	0,1	0,08	530
8	210	0,1	0,16	530
9	129,6	0,075	0,12	248
10	230,5	0,075	0,12	439
11	180	0,033	0,12	150
12	180	0,117	0,12	533
13	180	0,075	0,055	342
14	180	0,075	0,19	342
15	180	0,075	0,12	342
16	180	0,075	0,12	342
17	180	0,075	0,12	342
18	180	0,075	0,12	342
19	180	0,075	0,12	342
20	180	0,075	0,12	342

A ferramenta utilizada nos ensaios foi um cabeçote de Ø63 mm, ângulo de posição=45° e 16° de saída, com 5 pastilhas de PCBN de código R245 12 T3E CB50 9A0813189.

A máquina utilizada para os ensaios foi um centro de usinagem Romi Discovery 560, com potência de 12,5 cv e rotação máxima de 7500 rpm.

Para as medições dos esforços de corte foi utilizado um dinamômetro instrumentado com extensômetros e a frequência de aquisição utilizada nos ensaios foi de 500 Hz.

O rugosímetro SurfTest 211 da Mitutoyo, com “cut-off” de 0,8 e 5 amostras foi utilizado nas medições de rugosidade.

Para análise microestrutural foi utilizado um microscópio Olympus BH2-UMA com ampliação de até 500X e ataque químico Vilela (álcool etílico, ácido clorídrico e ácido pícrico).

O método escolhido para medir as tensões residuais foi o do furo cego, caracterizado como um ensaio semidestrutivo, já que o volume de material retirado não é relevante ao desempenho do componente testado e permite a geração de perfis de tensão residual com facilidade. Este método baseia-se na medição das deformações através da introdução de um furo cego na superfície da amostra que se deseja estudar. À medida que este furo é realizado em pequenos incrementos de profundidade, a deformação aliviada é medida através de um extensômetro em três direções. Foram utilizadas rosetas extensométricas modelo PA-062RE-120-L e fresas cônicas invertidas de metal duro modelo FG 39 da fabricante KGSorensen. Além disso, os furos cegos foram feitos através da fresadora pneumática de alta rotação SR 200 e as deformações medidas com o medidor de micro deformações digital P3, ambos da companhia Vishay. Finalmente, para análise dos dados coletados, escolheu-se o método da integral, calculado através do software Hdrill.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela (3) mostra os resultados obtidos com as medições de esforços.

Tabela 3. Resultados obtidos com as medições de esforços

Peça	v_c [m/min]	f [mm/v]	a_p [mm]	F_t [N]	F_r [N]	F_p [N]	F_r [N]	M_t [N.m]
1	150	0,05	0,08	88,06	87,86	91,22	154,26	2,77
2	150	0,05	0,16	139,36	139,20	156,90	251,82	4,39
3	150	0,1	0,08	134,90	135,00	212,09	285,31	4,25
4	150	0,1	0,16	59,53	59,84	179,51	198,37	1,88
5	210	0,05	0,08	69,91	70,11	282,04	298,92	2,20
6	210	0,05	0,16	143,79	143,31	153,43	254,47	4,53
7	210	0,1	0,08	76,06	76,06	351,75	367,83	2,40
8	210	0,1	0,16	53,84	53,83	225,51	238,01	1,70
9	129,6	0,075	0,12	81,29	80,67	43,48	122,50	2,56
10	230,5	0,075	0,12	48,52	48,38	43,64	81,23	1,53
11	180	0,033	0,12	94,52	94,59	355,70	380,00	2,98
12	180	0,117	0,12	97,64	97,89	410,04	432,72	3,08
13	180	0,075	0,055	38,35	38,39	125,08	136,34	1,21
14	180	0,075	0,19	121,37	121,37	121,54	210,31	3,82
15	180	0,075	0,12	68,83	68,66	252,20	270,29	2,17
16	180	0,075	0,12	111,41	111,83	142,74	212,82	3,51
17	180	0,075	0,12	89,19	89,78	119,81	174,27	2,81
18	180	0,075	0,12	115,93	116,47	475,21	502,82	3,65
19	180	0,075	0,12	48,73	48,84	138,42	154,66	1,54
20	180	0,075	0,12	86,82	87,12	225,68	262,97	2,73

Através da análise de ANOVA, verifica-se que há forte influência do avanço quadrático na força de penetração, além de haver grande significância da média dos valores de força de penetração obtidos. Além do avanço, observa-se que a velocidade de corte quadrática também influencia de modo significativo, sendo, portanto uma variável independente bastante importante para o processo. Os valores de avanço entre 0,04 e 0,11 mm/v conjuntamente com valores de velocidade de corte nos intervalos de 120 e 140 m/min ou 220 e 240 m/min resultam em valores mínimos de força de penetração. Assim, verifica-se que maiores valores de velocidade de corte tendem a gerar forças de penetração menores, todavia, esta condição acabaria elevando a temperatura na interface usinada, provocando assim um maior desgaste da ferramenta e conseqüentemente, uma diminuição de sua vida útil.

Através da análise de ANOVA para a força radial conclui-se que a interação, entre as variáveis independentes, avanço e penetração é a mais significativa para o processo. Novamente, a média é bastante representativa, não havendo, portanto grandes flutuações entre os valores de força radial medidos. As variáveis independentes de penetração e velocidade de corte individualmente também parecem influenciar de modo significativo este esforço de corte. Desta forma observa-se que a força radial pode variar da seguinte maneira: i) baixos valores de “ f ” juntamente com baixos valores de “ a_p ” resultam em valores mínimos de força radial. Como há dependência linear entre estas variáveis, observa-se que altos valores de “ f ” com altos valores de “ a_p ” também resultam em baixas forças radiais; ii) baixos

valores de “ a_p ” conjuntamente com altos valores de “ v_c ” fornecem baixos valores de força radial, variando entre zero e 40 N.

Para a força tangencial, observou-se que a interação linear entre o avanço e a penetração é significativa, além da própria média de valores das forças de corte. Novamente observou-se que a penetração, também possui grande influência nesta variável dependente quando atua individualmente. Como os valores obtidos de força radial e tangencial para cada ensaio são bastante próximos e as variáveis que influenciam cada processo são as mesmas, é possível estender as observações realizadas para a força radial também para este esforço de corte.

Para a força resultante nenhuma variável independente fixada influência nos valores de força resultantes obtidos. Todavia, nota-se que os valores são representativos em sua média, ou seja, todas as medidas de força resultante flutuam muito pouco em relação à média destes mesmos valores. Apesar disto, é possível notar que o avanço, entre todas as demais variáveis fixadas, parece estar mais próximo de influenciar a força resultante. Além disso, a profundidade de corte direta e também conjuntamente com o avanço apresentam certa significância ao estudo deste esforço de corte. A força resultante varia de diversas maneiras: i) valores de “ v_c ” por volta de 185 m/min juntamente com valores de “ f ” próximos de 0,07 mm/v geram os valores mais críticos de força resultante; ii) valores mínimos de força resultante são verificados quando co-existem valores de “ f ” na faixa de 0,07 mm/v com velocidades de corte “ v_c ” de 120 ou 240 m/min. As componentes de força tangencial e radial foram aquelas que influenciaram de forma mais significativa a força resultante (F_r);

Portanto para o momento torçor (M_t), força radial (F_r) e força tangencial (F_t), observaram-se seus valores mínimos quando se utilizaram conjuntamente baixos valores de penetração e avanço com os maiores valores de velocidade de corte.

A Tabela (4) mostra os resultados obtidos para a rugosidade media aritmética e para a tensão residual.

Tabela 4. Resultados obtidos para as rugosidades e tensões residuais

Peça	v_c [m/min]	f [mm/v]	a_p [mm]	Rugosidade Ra [μ m]	Tensão residual máxima [MPa]
1	150	0,050	0,08	0,13	-12
2	150	0,050	0,16	0,08	-61
3	150	0,100	0,08	0,11	-158
4	150	0,100	0,16	0,17	-122
5	210	0,050	0,08	0,11	-59
6	210	0,050	0,16	0,08	-200
7	210	0,100	0,08	0,09	120
8	210	0,100	0,16	0,15	-65
9	129,6	0,075	0,12	0,13	-26
10	230,5	0,075	0,12	0,10	-31
11	180	0,033	0,12	0,13	106
12	180	0,117	0,12	0,14	-46
13	180	0,075	0,055	0,19	352
14	180	0,075	0,19	0,08	158
15	180	0,075	0,12	0,10	9
16	180	0,075	0,12	0,10	-110
17	180	0,075	0,12	0,10	-133
18	180	0,075	0,12	0,10	-30
19	180	0,075	0,12	0,13	-194
20	180	0,075	0,12	0,13	290

A análise das rugosidades mostra que as variáveis independentes f e a_p atuando juntamente são as mais influentes nas respostas obtidas. Novamente verifica-se que os valores medidos são significativos em sua média, e, além disso, também é possível notar que o avanço também parece influenciar de modo significativo esta variável dependente conforme esperado. A rugosidade varia da seguinte forma: i) valores de “ f ” menores do que 0,07 mm/v conjuntamente com valores de “ a_p ” maiores do que 0,12 mm resultam em valores mínimos de rugosidade; ii) valores mínimos de rugosidade ocorrem com valores de “ v_c ” compreendidos entre 220 e 240 m/min e com valores de “ a_p ” compreendidos entre 0,12 e 0,17 mm/v; iii) altos valores de “ v_c ” juntamente com valores de “ f ” menores do que 0,07 mm/v conferem valores mais baixos de rugosidade médias.

Para este estudo, optou-se por analisar estatisticamente somente as tensões residuais que ocorreram no plano de máxima tensão principal, buscando sempre estudar os valores mais compressivos ou menos trativos, já que estes valores

são os mais desejáveis em uma superfície usinada já que diminuem a chance de surgimento de trincas e também aumentam a vida em fadiga do componente usinado.

A Figura (1) mostra um perfil típico de um dos corpos de prova analisados.

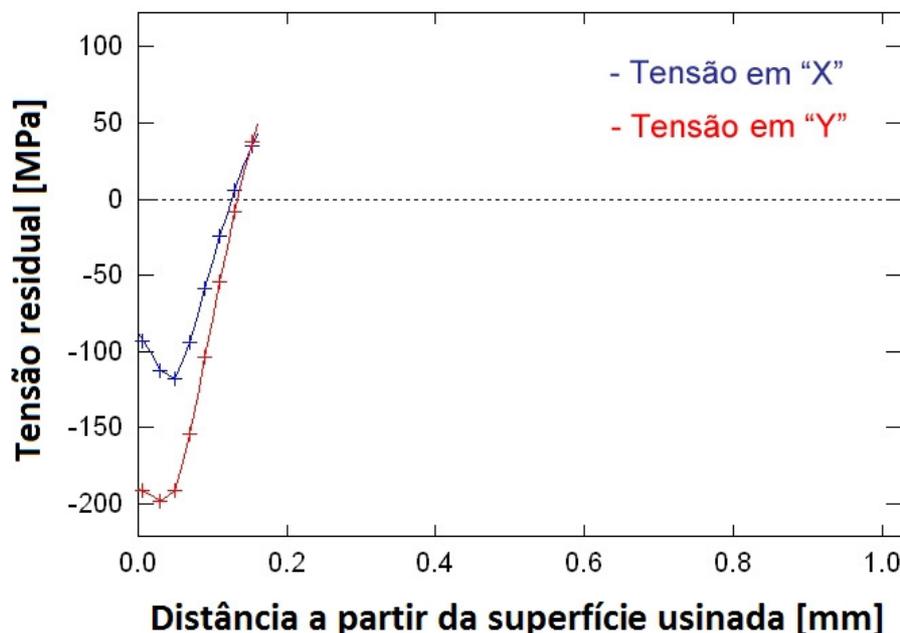


Figura 1 – Perfil de tensões residuais do corpo de prova 16

Nenhuma variável influencia estatisticamente a tensão residual máxima, porém a variável independente mais próxima de influenciar este parâmetro é a profundidade de usinagem quadrática. É possível afirmar que os valores de tensão residual principal máxima variam da seguinte maneira: i) valores compreendidos entre 0,10 e 0,16 mm juntamente com quaisquer valores de “f” garantem a existência de tensão residual compressiva; ii) tensões mais compressivas são obtidas nas situações onde coexistem valores de “ v_c ” entre 120 e 180 m/min e valores de “f” no intervalo de 0,06 a 0,13 mm/v. Além disto, estas tensões também ocorrem quando se possui “f” entre 0,02 e 0,07 mm/v e “ v_c ” no intervalo de 190 e 240 m/min.

A Figura (2) mostra os gráficos de contorno para as tensões máximas de compressão das peças.

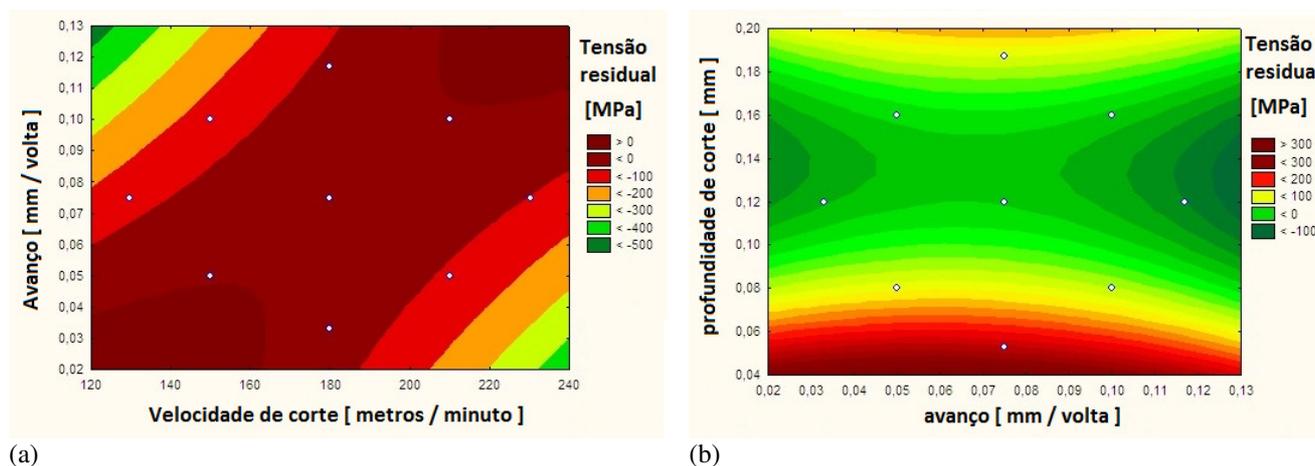


Figura 2 – Gráficos de contorno para análises das tensões residuais máximas (a) relação avanço vs. velocidade de corte (b) relação profundidade de usinagem vs. avanço.

Sendo consenso que o surgimento da camada branca é um fenômeno indesejável ao processo de usinagem em duro, efetuou-se a medida da possível camada branca gerada nos ensaios de usinagem. Assim, analisando as micrografias dos vinte corpos de prova, observou-se que todos apresentavam estrutura composta de martensita e bainita, mas que somente um deles (corpo de prova número 2) apresentou camada branca de aproximadamente 10 μm . Como este fenômeno não se mostrou recorrente nos outros corpos de prova estudados, optou-se por não analisar estatisticamente

quais variáveis independentes influenciam na formação de camada branca, já que tal verificação não possuiria sentido físico relevante.

Apesar das baixas condições de corte as quais o corpo de prova que apresentou camada branca estava submetido, pode ter havido uma significativa elevação de temperatura por conta do escoamento plástico, permitindo que houvesse uma re-tempera da camada superficial, gerando assim este fenômeno. Além disso, instabilidades na fixação da peça e outros problemas durante o processo podem ter oferecido condições para a formação desta camada branca medida.

4. CONCLUSÕES

Ao estudar a correlação existente entre os parâmetros de corte (velocidade de corte, avanço, profundidade de usinagem) e a qualidade superficial, as tensões residuais e a formação de camada branca no fresamento do aço AISI H13 endurecido à 54 HRC, utilizando-se ferramentas de nitreto cúbico de boro policristalino (PCBN), puderam ser estabelecidas as seguintes conclusões:

Esforços de corte:

- Para o momento torçor (M_t), força radial (F_r) e força tangencial (F_t), observaram-se seus valores mínimos quando se utilizaram conjuntamente baixos valores de penetração e avanço com os maiores valores de velocidade de corte;
- Para a força de penetração (F_p) e a força resultante (F_r), a condição de baixos valores de penetração e avanço juntamente com baixos valores de velocidade de corte resultou em baixos esforços de corte;
- As componentes de força tangencial e radial foram aquelas que influenciaram de forma mais significativa a força resultante (F_r);
- O avanço (f) foi o parâmetro de maior efeito sobre as forças de usinagem;
- Menores valores de penetração (a_p) tendem a fornecer menores esforços de corte.

Rugosidade:

- Os valores medidos de “Ra” para as diversas condições ensaiadas encontram-se entre 0,08 e 0,19 μm ;
- O avanço (f) e a penetração (a_p) foram as variáveis mais significativas para a rugosidade obtida;
- Menores valores de avanço com maiores valores de profundidade resultaram em valores mais baixos de rugosidade média;
- A rugosidade média encontrada (0,12 μm) pode ser comparada com o acabamento fino obtido em processos como o de retificação o que mostra que os parâmetros utilizados nos ensaios podem servir como referencia para a substituição desta operação.

Camada branca:

- Apenas um corpo de prova apresentou a formação de camada branca, possuindo aproximadamente 10 μm de espessura;

Tensão Residual:

- A maioria dos corpos de prova apresentou tensão residual compressiva na superfície, o que aumenta a vida em fadiga e reduz a possibilidade de aparecimento de trincas;
- Observa-se que grande parte das medições apresenta curvas com picos de tensão residual compressiva para depois retornar à tensões trativas;
- Para as tensões máximas principais observadas, obteve-se como máximo valor de compressão uma tensão de -200 MPa e um mínimo valor de tração de 9 MPa;
- Com 95% de confiabilidade, não foi possível verificar quais parâmetros de usinagem influenciam nas tensões residuais máximas principais.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro Universitário da FEI pelo apoio a parte experimental deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Astakhov, V. P. 2010, “Surface Integrity – Definition and Importance in Functional Performance” In: Surface Integrity in Machining, Org. Paulo Davim. Editora Springer, Londres, ISBN: 978-1-84882-873-5, p. 1-35.
- El-Axir, M. H., 2002, “A method of modeling residual stress distribution in turning for different materials” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol.41, pp.1055-1063.

- Field, M. & Kahles, J.F., 1964, "The Surface Integrity of Machined and Ground High Strength Steels", DMIC Report, Vol. 210, pp.54–77.
- Field, M. & Kahles, J.F., 1971, "Review of surface integrity of machined components", Annals CIRP, 20, No. 2, pp.153–62.
- Field, M., Kahles, J.F. & Cammett, J.T., 1972, "Review of measuring methods for surface integrity", Annals of the CIRP, Vol. 21, pp.219–238.
- Field, M., Kahles, J.F. & Koster, W.P., 1989, "Surface finish and surface integrity", In: ASM Handbook. Vol. 16. Machining. ASM International, Materials Park, Ohio, EUA, 1989. pp. 19-36
- Jang, D. Y.; Watkins, T. R.; Kozaczek, K. J.; Hubbard, C. R. & Cavin, O. B., 1996, "Surface residual stresses in machined austenitic stainless steel", Wear, Vol.194, pp.168-173.
- Matsumoto, Y.; Barash, M. M.; Liu, C. R., 1986, "Effect of hardness on the surface integrity of AISI 4340 steel" Trans. of the ASME - Journal of Engineering for Industry vol. 108 pp. 69-175.
- Momper, F.J., 2000, "Usinagem a seco e de materiais endurecidos", Revista Máquinas e Metais, v.410, p. 30-37.
- M'Saoubi, R., Outeiro, J.C., Chandrasekaran, H., Dillon Jr., O.W. & Jawahir, I.S., 2008, "A review of surface integrity in machining and its impact on functional performance and life of machined products", Int. J. Sustainable Manufacturing, Vol. 1, Nos. 1/2, pp.203–236
- Poulachon, G.; Alberta, A., Schluraff, M., Jawahir, I. S., 2005, "An experimental investigation of work material microstructure effects on white layer formation in PCBN hard turning", Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, pp. 211–218.
- Ramesh, A., Melkote, S. N., Allard, L. F., Riester, L., Watkins, T. R., 2005. Analysis of white layers formed in hard turning of AISI 52100 steel. Materials Science and Engineering Vol. A 390, pp. 88–97.
- Rech, J., Kermouche, G., Grzesik, W., Garcia-Rosales, C., Khellouki, A., Garcia-Navas, V., 2008, "Characterization and modelling of the residual stresses induced by belt finishing on a AISI52100 hardened steel", Journal of materials processing technology, Vol. 208, pp. 187–195.
- Zhang, X., Gao, E., C.R.L., 2009, "Optimization of process parameter of residual stresses for hard turned surfaces", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 4286–4291.

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

Surface integrity of the AISI H13 hardened steel after milling

Sergio Delijaicov, sergiode@fei.edu.br ¹

Éd Claudio Bordinassi, ecb@maua.br ²

Gilmar Ferreira Batalha, gilmar.batalha@poli.usp.br ³

¹ Dept. of Mechanical Engineering -Centro Universitário da FEI Fundação Educaional Inaciana Pe. Saboia de Medeiros
Av. Humberto de Alencar Castelo Branco, 3972 –Bairro Assunção - Sao Bernardo do Campo, Brazil – 09850-901

² Dept. of Mechanical Engineering - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, Praça Mauá, 01
– São Caetano do Sul, Brazil – 09580-900

³ Laboratory of Manufacturing Engineering - Dept. of Mechatronics & Mechanical Systems Engineering –
Escola Politécnica of the University of São Paulo - Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - São Paulo – Brazil– 05508-970

Abstract: *this work aimed to study the correlation between the cutting parameters (cutting speed, feed rate and cutting depth) with the surface quality, the residual stresses and the white layer formation, of the AISI H13 hardened steel with 54 HRC, using PCBN tools. A design of experiments was used with a complete factorial planning including a central central point model. The milling forces were measured tri-directional dynamometer was used in the cutting forces measurements. The data acquisition was carried out employing a HBM Spider device operating with its software HBM Catman. The residual stresses has been measured by an incremental blind hole method. The data analysis was made by the integral method using the H-Drill software. The average roughness (Ra) was 0,12 μm . It's the same that ones obtained with the grinding process or honing. The white layer presnce was observed in only at one sample. For the residual stresses analysis, the measured values were – 200 MPa for the compressive stresses and 9 MPa for the tensile stresses. Almost all specimens showed compressive residual stresses on the surface, and tensile residual stresses in the sub surface.*

Palavras-chave: *Milling, surface integrity, residual stresses, hardened steel AISI H13*