



INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE SOBRE O ACABAMENTO SUPERFICIAL NO FRESAMENTO DO AÇO SAE 4118H MODIFICADO

Rafael Gustavo da Rocha Paulo

rafaelgustavo@dem.feis.unesp.br
Universidade Estadual Paulista – UNESP
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – FEIS
Departamento de Engenharia Mecânica – DEM
Av. Brasil Centro, 56
15.385-000
Ilha Solteira-SP

Diego Lucas de Arruda

diegolucasarruda@yahoo.com.br

Rodolfo da Silva Manera

rodolfoman@aluno.feis.unesp.br

Hidekasu Matsumoto

hidekasu@dem.feis.unesp.br

Alessandro Roger Rodrigues

roger@dem.feis.unesp.br

Resumo: *Este trabalho apresenta um estudo da influência da velocidade de corte no acabamento superficial do aço SAE 4118H modificado, utilizado na fabricação de engrenagens automotivas. Os testes foram realizados em um centro de usinagem CNC adotando-se fresamento de topo (fresa \varnothing 25 mm) e condição de corte concordante. Utilizaram-se três velocidades de corte diferentes, 100, 250 e 400 m/min, mantendo-se o avanço e a profundidade de usinagem constantes. Após a usinagem, mediram-se quatro parâmetros de rugosidade, R_a , R_y , R_z e R_q e uma comparação visual foi realizada através de microscopia óptica das superfícies usinadas. Os resultados mostraram que o acabamento superficial foi melhorado com o aumento da velocidade de corte. Em média, a rugosidade diminuiu aproximadamente 56% para um aumento de 300% da velocidade de corte. Análises qualitativas das marcas de avanço indicaram uma má formação do cavaco para velocidades de corte baixas, o que causou o aumento da rugosidade da peça.*

Palavras-chave: *acabamento superficial, fresamento, velocidade de corte, parâmetros de rugosidade.*

1. INTRODUÇÃO

O acabamento superficial não deve ser simplificado apenas à aparência da peça fabricada, pois por meio dele pode-se obter informações importantes sobre os processos sofridos pela peça. Segundo Becker, Santos e Sales (2005), pode-se definir a textura superficial como a impressão digital do processo de manufatura, pois qualquer alteração na dureza ou composição química, desgaste excessivo da ferramenta de corte, utilização de parâmetros de corte inadequados ou instabilidade da máquina-ferramenta irão refletir no acabamento superficial do produto final. Ainda segundo os autores, uma superfície pode ser definida em três níveis: erros de forma, ondulação e rugosidade, apresentando a distância entre as irregularidades como a principal diferença entre eles.

Uma forma prática de explicar a rugosidade é defini-la como irregularidades finas de menor espaçamento, resultantes da ação inerente da ferramenta do processo de fabricação (Field, Kahles e Koster, 1989). De acordo com Ferraresi (1970), a rugosidade superficial ainda pode ser considerada como um parâmetro de usinabilidade, pois materiais manufaturados nas mesmas condições de usinagem e nas mesmas máquinas-ferramentas apresentam valores de rugosidades diferentes.

Os principais fatores que influenciam na rugosidade superficial são: raio de ponta da ferramenta, avanço e velocidade de corte (Diniz, Marcondes e Coppini, 2000). Ferraresi (1970) ainda complementa citando os ângulos de folga (α), de saída (γ) e de posição da ferramenta (χ_r).

Muitas pesquisas comprovaram que um aumento no valor da velocidade de corte pode proporcionar um melhor acabamento. Lima et al. (2005), no torneamento dos aços AISI 4340 e AISI D2 concluíram que a rugosidade média (R_a) das peças ensaiadas diminuiu com o aumento da velocidade de corte.

Em um outro trabalho, Korkut et al. (2004) notaram uma melhoria na rugosidade superficial com o acréscimo da velocidade de corte, durante o torneamento do aço inoxidável austenítico AISI 304. Eles justificaram essa melhoria relatando que o aumento da velocidade de corte evitou a formação da aresta postiça de corte (APC), que geralmente prejudica o acabamento da superfície usinada.

Esta melhoria não ocorre apenas no processo de torneamento. Em uma outra pesquisa, Korkut e Donertas (2007) analisaram a influência do avanço e da velocidade de corte sobre a força de corte, rugosidade superficial e comprimento de contato cavaco-ferramenta. Eles realizaram um processo de fresamento nos aços AISI 1020 e AISI 1040, empregando cinco velocidades diferentes: 44, 56, 71, 88 e 111 m/min. Para os dois materiais ensaiados constataram um decréscimo no valor da rugosidade causado pelo acréscimo da velocidade. Além disso, observaram que em todos os casos, o aço AISI 1040 apresentou um pior acabamento em relação ao AISI 1020.

Todavia, nem todos os estudos chegam às mesmas conclusões apresentadas acima. Koshy, Dewes e Aspinwall (2002) durante o fresamento do aço AISI D2, com dureza de aproximadamente 58 HRC, analisaram as diferenças entre fresas de ponta esférica com insertos intercambiáveis e fresas inteiriças. Eles notaram um pior acabamento da superfície à medida que o desgaste da ferramenta progredia, porém não conseguiram estabelecer uma relação padrão entre os valores de rugosidade e de velocidade de corte.

Assim, este trabalho visou estudar a influência da velocidade de corte no acabamento superficial, analisando o seu efeito em cada parâmetro de rugosidade considerado.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1 Aparato Experimental

Os ensaios foram realizados em um centro de usinagem da marca Romi, modelo Discovery 560, com as seguintes características: 15 CV de potência, rotação máxima de 10.000 rpm e velocidade máxima de avanço igual a 30 m/min. O processo de usinagem empregado foi o fresamento de topo concordante, utilizando-se uma fresa de 25 mm de diâmetro, contendo dois insertos de metal duro revestidos de TiN, fabricados pela Sandvik Coromant, cuja codificação é R390-11 T3 08M-PM. As principais características da ferramenta são: ângulo de folga (α) igual a 21° , ângulo de posição (χ_r) igual a 90° e 0,8 mm de raio de ponta. Convém lembrar que os insertos foram analisados ao fim de cada ensaio e nenhuma ocorrência de desgaste foi detectada. Esse procedimento foi adotado visando manter a igualdade de condições dos testes. Ressalta-se ainda que todos os ensaios foram realizados sem a utilização de fluido de corte.

A rugosidade foi medida com um rugosímetro Mitutoyo, modelo SJ-201P, contendo uma agulha com raio de ponta igual a $5\ \mu\text{m}$. O valor do cut-off adotado foi 0,8 mm. Com o intuito de quantificar mínima e estatisticamente os resultados, realizaram-se para cada ensaio seis medidas de rugosidade, considerando os parâmetros R_a , R_y , R_z e R_q . Na Figura 1 observa-se a montagem experimental empregada nas medições de rugosidade.

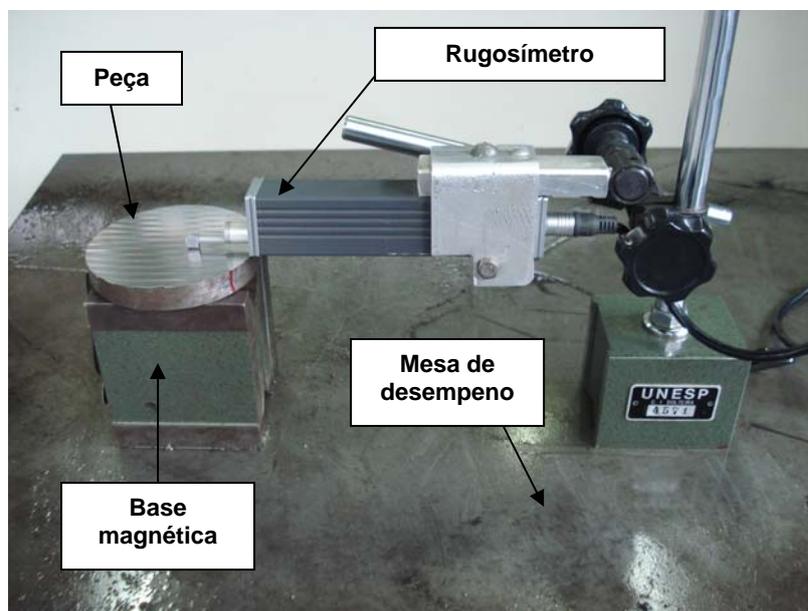


Figura 1: Medição da rugosidade nos corpos de prova.

Depois de analisar a rugosidade das peças de maneira quantitativa, um microscópio óptico da marca Carl Zeiss Jena, modelo Neophot 21, com ampliação máxima de 2000x, foi empregado para obter dados qualitativos por meio de imagens com aumento de 12 e 250x, visando fazer uma comparação entre os valores obtidos pelo rugosímetro e as fotos registradas.

2.2 Material Utilizado

O material utilizado nos ensaios foi o aço SAE 4118H modificado (209 HV), empregado na fabricação de engrenagens automotivas. Este material foi forjado a quente a 1200°C por meio de prensas excêntricas, sendo este processo dividido em duas etapas. Primeiramente usou-se uma prensa com capacidade de 10MN e, em seguida, uma de 20MN. Após o forjamento a quente, as peças passaram por um processo de tamboramento para limpeza. Em seguida, elas foram mantidas em um forno a 950°C por duas horas com o objetivo de realizar a normalização, ou seja, uma maior homogeneização dos grãos. Cabe ressaltar que as peças utilizadas nestes ensaios correspondem à parte interna (miolo) da engrenagem, também conhecida como espelho. Essas amostras possuem 70 mm de diâmetro e uma espessura média de 15,5 mm. A Tabela 1 exibe a composição química das peças utilizadas.

Tabela 1: Especificação química das peças utilizadas (% em peso)

C	Mn	Cr	Mo	Si	P	S
0,23 - 0,28	0,90 - 1,30	0,35 - 0,70	0,10 - 0,20	0,15 - 0,35	0,25 máx	0,02 - 0,04

As peças normalizadas foram recebidas na forma bruta. Dessa maneira, antes de realizar os ensaios elas passaram por uma pré-usinagem, por meio de um processo de torneamento convencional, visando à obtenção de uma superfície plana, antes da realização dos testes finais. Essas etapas podem ser observadas por meio da Figura 2.

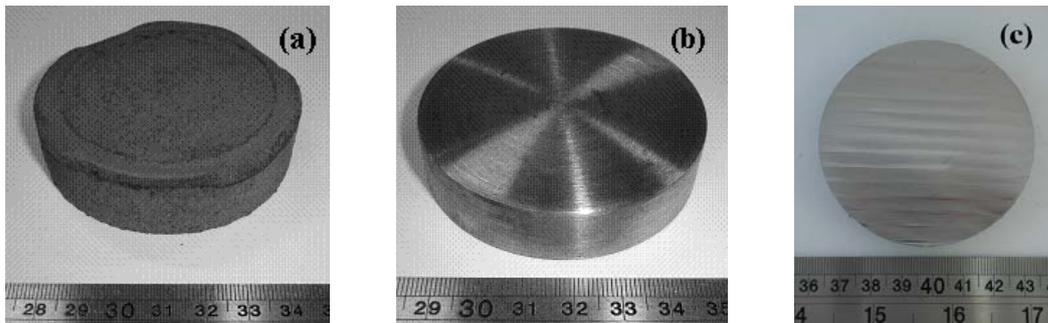


Figura 2: (a) peça bruta, (b) pré-usinada e (c) usinada nos testes finais de fresamento.

Para os ensaios finais, foram empregadas três condições de corte, conforme pode ser observado pela Tabela 2. Pode-se dizer que a condição 1 estaria na faixa de velocidade de corte convencional e a condição 3 adentraria o campo HSC (high speed cutting), ou seja, usinagem com alta velocidade de corte. Dessa forma, a condição 2 seria uma faixa de transição para este tipo de material e para este processo de usinagem.

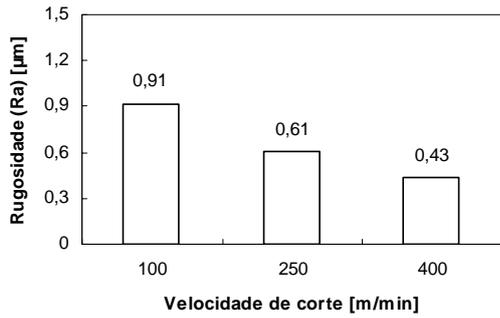
Tabela 2: Matriz experimental

Condição de corte	Velocidade de corte [m/min]
1	100
2	250
3	400

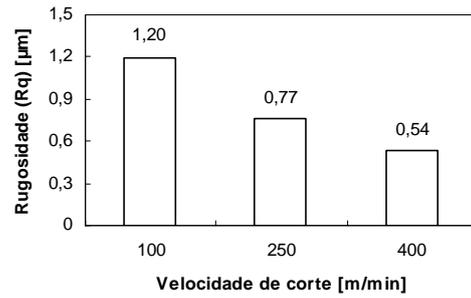
Durante as três condições de corte, o avanço por dente (f_z) e a profundidade de usinagem (a_p) foram mantidos constantes, sendo 0,15 mm/z e 1,5 mm, respectivamente.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

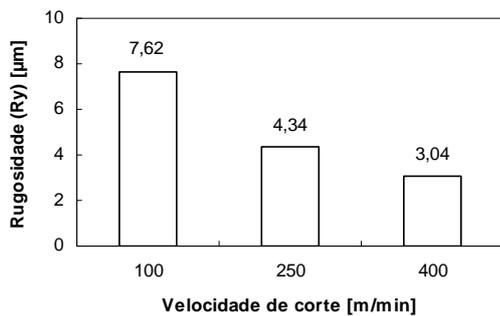
Foram medidos quatro parâmetros de rugosidade, R_a , R_y , R_z e R_q . Esses valores podem ser verificados por meio das figuras a seguir. A Figura 3 exibe a influência da velocidade de corte sobre todos os parâmetros de rugosidade medidos.



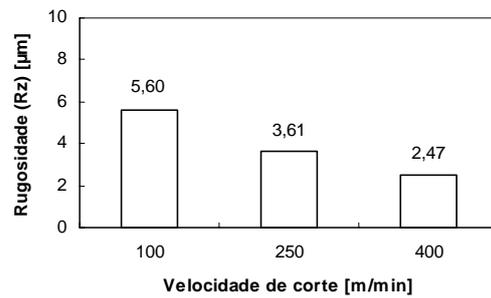
(a)



(b)



(c)

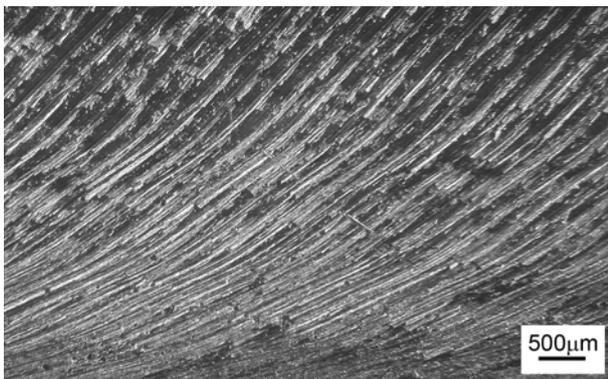


(d)

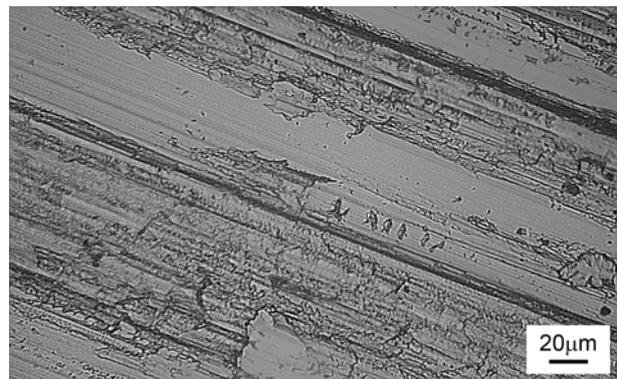
Figura 3: Influência da v_c nos parâmetros de rugosidade (a) R_a , (b) R_q , (c) R_y e (d) R_z .

Vale ressaltar que todos os valores apresentados nas figuras acima são as médias de cada parâmetro entre os seis pontos analisados para cada velocidade de corte. Os erros experimentais foram de 12% para R_a , 12% para R_q , 16% para R_y e 12% para o parâmetro R_z , considerando um intervalo de confiança de 95%. Esses valores foram considerados aceitáveis em virtude da rugosidade ser uma variável completamente dispersiva.

Em relação aos dados qualitativos, a Figura 4 apresenta as imagens registradas das peças após a usinagem nas três diferentes condições de corte.



(a) condição 1, aumento 12x



(b) condição 1, aumento 250x

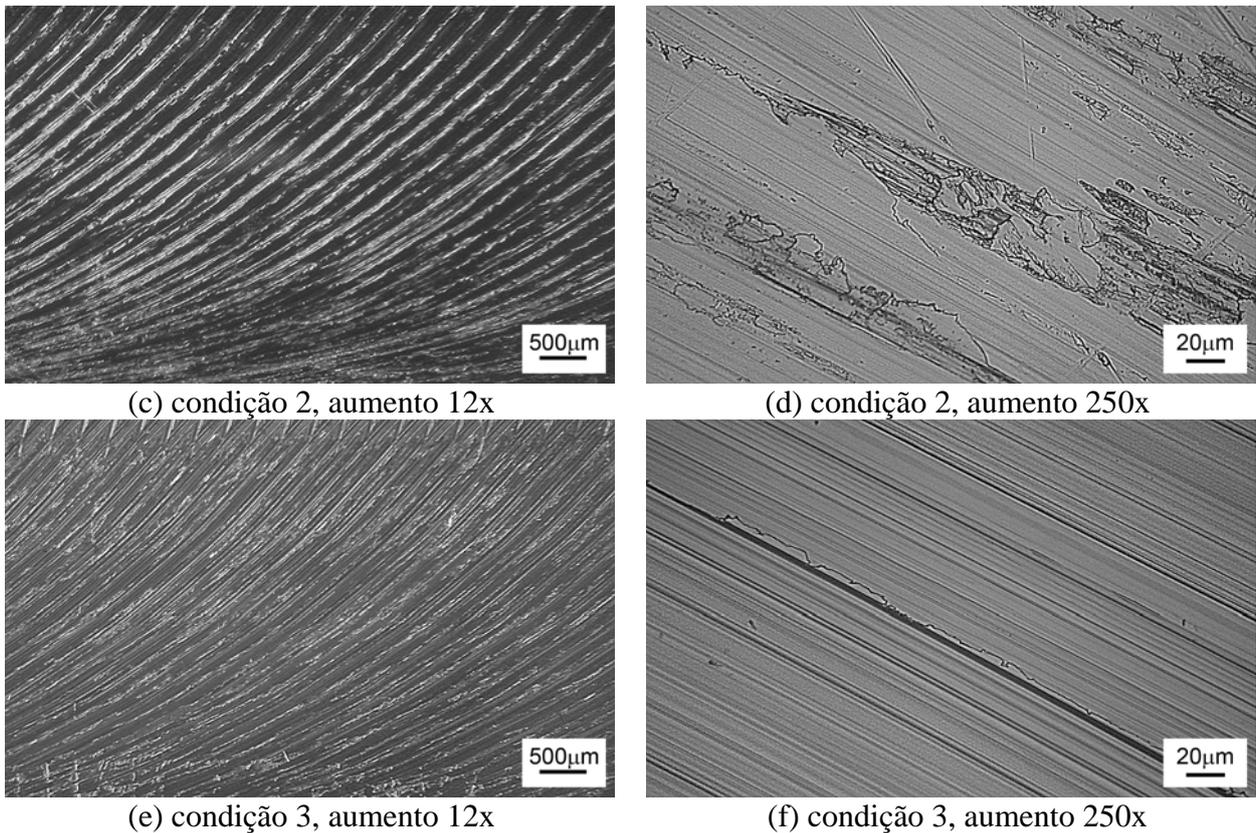


Figura 4: Textura superficial das peças ensaiadas.

4. DISCUSSÃO

Analisando os resultados apresentados na Figura 3, nota-se que todos os parâmetros de rugosidade seguiram a mesma tendência de queda com o aumento da velocidade de corte. Este resultado concorda com os da literatura, principalmente no campo HSC, que destaca como uma das grandes vantagens a melhoria no acabamento superficial.

Por meio da Figura 3a observa-se uma queda de aproximadamente 53% no valor da rugosidade média (R_a) quando comparadas as condições de usinagem 1 e 3. Para o parâmetro R_q (Figura 3b), que trata da rugosidade média quadrática, ou seja, valor RMS, essa queda chegou a 55%. Considerando valores máximos de rugosidade (R_y), a Figura 3c exibiu um decréscimo de 60% com o aumento da velocidade de corte de 100 para 400 m/min. Já para o parâmetro R_z , o qual calcula a média entre os cinco picos mais altos e os cinco vales mais profundos, houve um decréscimo de aproximadamente 56%.

Analisando de forma conjunta os parâmetros de rugosidade adotados neste estudo, verifica-se que a velocidade de corte não causa nenhum efeito diferenciado sobre algum parâmetro de rugosidade particular, pois conforme detalhado na Figura 3, todos os parâmetros apresentaram o mesmo comportamento com o acréscimo na velocidade de corte.

Torna-se importante frisar que em todos os parâmetros de rugosidade medidos, apesar dos desvios relativos alcançarem patamares em torno de 15%, é possível afirmar com base estatística que a rugosidade da peça de fato diminuiu com o aumento da velocidade de corte, sendo 95% o grau de certeza dessa afirmação.

Para comprovar esta tendência de queda no valor da rugosidade com o aumento da velocidade de corte, podem-se comparar as imagens da Figura 4. As fotos da coluna da esquerda apresentam um aumento de 12x, que apesar de pequeno, permite visualizar um melhor acabamento superficial decorrente do aumento da velocidade de corte. A coluna da direita, por sua vez, apresenta as imagens das peças nas três condições de corte, porém com um aumento de 250x. Assim, fica nítido uma maior regularidade das marcas de avanço produzidas pela ferramenta à medida que a velocidade aumenta.

Isto pode ser explicado pelo fato do acréscimo da velocidade melhorar o processo de formação do cavaco, ou seja, o cisalhamento completo do cavaco pode ocorrer ainda na zona primária de cisalhamento, pois em razão do aumento da velocidade, há uma elevação da temperatura na região de corte, causando um amolecimento do material. Porém, ao mesmo tempo, o material à frente da aresta de corte apresenta uma elevação na sua resistência mecânica, devido ao encruamento causado por uma maior deformação plástica. Dessa maneira, o material possui uma condição favorável, pois se torna frágil devido ao encruamento e dúctil em virtude do amolecimento, facilitando a formação do cavaco.

Assim, pode-se dizer que o cavaco torna-se mais cisalhado do que recalcado, isto é, o corte ocorre com maior facilidade, melhorando assim o acabamento superficial.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados permite as seguintes conclusões:

- A velocidade de corte influenciou no acabamento superficial em todos os ensaios realizados. À medida que seu valor aumentou, diminuíram-se os níveis de rugosidade;
- Os quatro parâmetros de rugosidade medidos apresentaram a mesma tendência de queda com a elevação da velocidade de corte;
- Nenhum parâmetro de rugosidade, em especial, apresentou maior sensibilidade às variações de velocidade de corte, ou seja, todos apresentaram praticamente os mesmos efeitos, em média aproximadamente 56% de decréscimo nos valores de rugosidade.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo amparo financeiro ao projeto de pesquisa.

7. REFERÊNCIAS

- Becker, M.; Santos, S. C.; Sales, W. F., 2005, “Integridade Superficial em Usinagem”, In: Vários Autores, *Tecnologias Avançadas de Manufatura*, 1. ed., Jaboticabal-SP, Brasil, Cubo Multimídia, pp 105-124.
- Diniz, A. E.; Marcondes, F. C.; 2000, Coppini, N. L., “Tecnologia da Usinagem dos Materiais”, 2. ed., São Paulo, Artliber, 244 p.
- Ferraresi, D., 1970, “Fundamentos da Usinagem dos Metais”, São Paulo, Edgard Blücher, 754 p.
- Field, M.; Kahles, J. F.; Koster, W. P., 1989, “Surface Finish and Surface Integrity”, In: Davis, J. R. (Ed.), *Metals Handbook: Machining*, 9. ed., Ohio, ASM, Vol. 16, pp 19-36.
- Korkut, I. and Donertas M. A., 2007, “The Influence of Feed Rate and Cutting Speed on the Cutting Forces, Surface Roughness and Tool-Chip Contact Length During Face Milling”, *Materials and Design*, Surrey, Vol. 28, No. 1, pp 308-312.
- Korkut, I. et al, 2004, “Determination of Optimum Cutting Parameters During Machining of AISI 304 Austenitic Stainless Steel”, *Materials and Design*, Surrey, Vol. 25, No. 4, pp 303-305.

- Koshy, P.; Dewes, R.C.; Aspinwall, D. K., 2002, "High Speed End Milling of Hardened AISI D2 Tool Steel (~58 HRC)", Journal of Materials Processing Technology, Amsterdam, Vol. 127, No. 2, pp 266-273.
- Lima, J. G. et al., 2005, "Hard Turning: AISI 4340 High Strength Low Alloy Steel and AISI D2 Cold Work Tool Steel", Journal of Materials Processing Technology, Amsterdam, Vol. 169, No. 3, pp 388-395.

8. DIREITOS AUTORAIS

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

THE INFLUENCE OF CUTTING SPEED ON FINISH SURFACE IN MILLING PROCESS OF MODIFIED ALLOY STEEL SAE 4118H

Rafael Gustavo da Rocha Paulo

rafaelgustavo@dem.feis.unesp.br
São Paulo State University - UNESP
Engineering Faculty of Ilha Solteira - FEIS
Mechanical Engineering Department - DEM
Av. Brasil Centro, 56
15.385-000
Ilha Solteira-SP

Diego Lucas de Arruda

diegolucasarruda@yahoo.com.br

Rodolfo da Silva Manera

rodolfoman@aluno.feis.unesp.br

Hidekasu Matsumoto

hidekasu@dem.feis.unesp.br

Alessandro Roger Rodrigues

roger@dem.feis.unesp.br

Abstract: *This research work presents a study about the cutting speed effect on finish surface of modified alloy steel SAE 4118H commonly employed on automotive gear production. The tests were carried out in a machine center with an end mill cutter of 25 mm diameter running at down-milling condition. Three cutting speeds were considered on trials such as 100, 250 and 400 m/min. The feed rate and depth of cut were kept fixed. After machining operation, four roughness parameters were measured i.e. R_a , R_y , R_z and R_q . In addition, a visual comparison of surface workpiece was also performed using optical microscopy. The results indicated that the surface finish was improved when cutting speed was increased. The roughness decreased about 56% on average for an increase of 300% in cutting speed. Qualitative analyses of feed marks showed an unsuitable chip formation for low cutting speed which made increase the workpiece roughness.*

Keywords: *finish surface, milling process, cutting speed, roughness parameters.*