

RESISTÊNCIA À FADIGA DO AÇO SAE 1020 USINADO E SUBMETIDO A CORROSÃO

Michele Cravo de Lima

Gabriel Augusto da Silva

Prof. Carlos Della Rovere

Bruno Alexandre Roque

Prof. Marcos Roberto Monteiro

Autor Prof. Dr.-Ing. Carlos Eiji Hirata Ventura

Universidade Federal de São Carlos. Rod. Washington Luis km 235, São Carlos, SP 13565-905, Brasil

michelecravoedelima@hotmail.com, gabrielsilva_12@yahoo.com.br, carlosdrovere@gmail.com,

brunoroque_engenharia@yahoo.com.br, marcosmonts@gmail.com, ventura@ufscar.br

Resumo. O processo de usinagem é amplamente utilizado na fabricação de componentes que são submetidos a esforços mecânicos, térmicos e químicos quando do desempenho de suas funções. Sabendo-se que o processo de remoção de material influencia as características da peça, um planejamento adequado da operação de usinagem se faz necessário a fim de se aumentar a vida do componente. Assim, este trabalho tem como objetivo determinar a influência dos parâmetros de corte sobre a vida em fadiga de peças apenas usinadas e usinadas e submetidas a banhos de corrosão em uma solução 3,5% de NaCl. Em ambas as situações, mostrou-se que uma combinação de maior velocidade de corte e avanço por volta leva a uma maior vida em fadiga (aproximadamente o dobro) para uma carga pré-determinada. Neste caso, a imersão da peça em ambiente agressivo levou a uma redução de aproximadamente 10% na quantidade de ciclos.

Palavras chave: Usinagem. Vida em fadiga. Corrosão.

1. INTRODUÇÃO

Processos de usinagem são amplamente utilizados na indústria metalmeccânica para obtenção de diversas geometrias e tipos de acabamentos superficiais. Muitos componentes usinados desempenham funções estruturais, ou seja, são submetidos a esforços mecânicos, como tração, compressão, cisalhamento, torção ou flexão. Em geral, peças fabricadas para máquinas, como eixos, polias, engrenagens, rolamentos, entre outros elementos móveis, estão sujeitos a esforços variáveis em sentido e módulo, denominado esforço de fadiga. Trata-se de um tipo de sollicitação mecânica que propaga trincas ao longo do material e em direções distintas, podendo levá-lo à fratura, dependendo da tensão e da quantidade de ciclos de esforços.

Arola e Williams (2002) explicam que, em ensaios de fadiga de baixo ciclo, a rugosidade superficial do corpo não é tão determinante. Mas, segundo Lopes (2006), em processos de fadiga de alto ciclo, a nucleação das trincas acontece preferencialmente nas descontinuidades superficiais. Isso significa que, quanto maior a rugosidade superficial do componente, maiores são as chances de surgir uma trinca por fadiga. De acordo com Corrêa (2002), os parâmetros de usinagem estão diretamente relacionados à rugosidade superficial e, consequentemente, à resistência à fadiga. Para Zahavi e Torbilo (1996) e Arola e Williams (2002), quando um componente é submetido a uma determinada carga, sua camada superficial sofre a maior sollicitação e pode possuir concentradores de tensão, que geram trincas a partir da superfície. Isso deixa evidente que existe uma problemática em torno da região superficial do material, demandando assim uma atenção especial.

Segundo Lopes (2006), as pressões exercidas pela ferramenta na superfície da peça geram deformações plásticas localizadas e, por consequência, irregularidades, que afetam a vida em fadiga. Muitos autores investigaram a relação entre acabamento de superfícies e propriedades mecânicas nas mais diversas ligas e chegaram a essa mesma conclusão. Dai et al. (2018), por exemplo, estudaram a influência da rugosidade superficial sobre a resistência à fadiga em uma liga de alumínio 2024-T3 revestida por oxidação de micro-arco (MAO), uma técnica de limpeza por deposição de uma fina camada superficial de óxido cerâmico sobre materiais não ferrosos. Eles também chegaram à conclusão de que os corpos de prova com menor rugosidade superficial eram mais resistentes à fadiga. Essas análises foram feitas também para materiais não metálicos. Haddad et al. (2015) usinaram corpos de prova de fibras de carbono (T700/M21-GC e IMS/977-2) e também analisaram sua resistência em função da rugosidade superficial. Eles notaram que a resistência de ambos os materiais diminuía com o aumento da rugosidade superficial. Entretanto, eles lembram em seu trabalho que é necessário

ser cauteloso com materiais compósitos, pois a resposta mecânica dos mesmos pode ser muito diferente das respostas dos demais materiais.

Sabendo-se que os parâmetros utilizados no processo de usinagem estão diretamente relacionados com o acabamento superficial da peça ao fim do processo, Zahavi e Torbilo (1996) afirmam que a utilização de avanços menores gera superfícies com acabamentos superiores. Portanto, espera-se que a utilização de menores valores de avanço gere corpos de prova mais resistentes à fadiga. Pontos de concentração de tensão na superfície também favorecem o processo corrosivo quando da aplicação de uma peça em ambiente circundado por fluido, com ancoramento de sujidade, produtos contaminantes ou incrustações diversas. Esse potencial de deterioração da peça pode ser maior ou menor, dependendo não apenas das características do meio, mas também das propriedades mecânicas obtidas após o processo de fabricação da peça, que podem antecipar ou postergar a formação e propagação de trincas. De acordo com Carrasco et al. (2011), mudanças nas variáveis do material e/ou do ambiente podem aumentar ou inibir a propagação de trincas.

A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO, 2018) explica que, em regiões onde já há a ocorrência de trincas, a corrosão tende a aumentar muito rapidamente. Esse fenômeno é conhecido como aeração diferencial. O processo contrário também pode acontecer: a corrosão superficial pode gerar trincas a partir da qual se inicia o processo de fadiga. Entretanto, o processo de propagação de trincas a partir da corrosão é muito lento e demora bastante até que essa trinca atinja o tamanho crítico e ocasione fratura frágil. Por fim, destaca-se ainda que a ocorrência simultânea dos processos de corrosão e fadiga faz com que o material falhe muito mais rapidamente, ou seja, com um número de ciclos muito menor em comparação ao processo de fadiga isolado.

Neste contexto, o trabalho tem como objetivo determinar a influência dos parâmetros de torneamento sobre a vida em fadiga de corpos de prova apenas usinados e usinados e envelhecidos por banho corrosivo em uma solução 3,5% de NaCl.

2. METODOLOGIA

Para a execução do presente estudo, foram produzidos três tipos de corpos de prova: o primeiro para o ensaio de tração (de acordo com a norma ASTM – A370, Fig. 1^a), o segundo para os ensaios de fadiga (de acordo com a norma ASTM E466, Fig. 1b) e o terceiro para o ensaio de perda de massa (Fig. 1c). Todas as peças foram produzidas em aço SAE 1020 normalizado em um torno CNC Nardini Fast Trace (rotação máxima de 3000 rpm) com a utilização de um inserto de metal duro classe ISO P25 revestido com TiN e com geometria VBMT 160404.

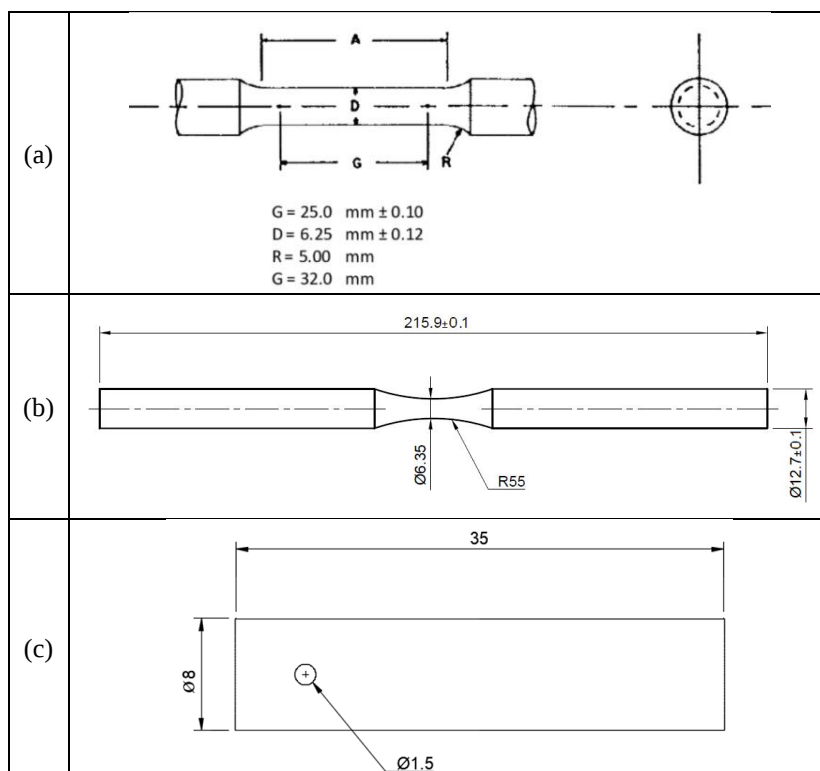


Figura 1. Corpos de prova utilizados nos ensaios de (a) tração, (b) fadiga e (c) perda de massa

De modo a se obter uma carga adequada para a realização dos testes de fadiga, três corpos de prova torneados com parâmetros de corte intermediários foram submetidos a ensaios de tração, realizados em uma máquina de ensaios universal Instron 5500R. A partir das curvas de tensão-deformação, chegou-se a um limite de resistência à tração de $620,71 \pm 25,12$

MPa e, com base em testes preliminares para verificação do tempo de ensaio, decidiu-se por utilizar nos testes de fadiga uma carga igual a aproximadamente 50% da tensão limite, com valor de 310 MPa. Todas as peças foram testadas em uma máquina de ensaios de fadiga por flexão rotativa Fatigue Dynamics RBF200 (rotação máxima de 10.000 rpm), em uma rotação de 6000 rpm, até o momento de ruptura.

Para a determinação da influência do processo de usinagem sobre a vida em fadiga do material utilizado, corpos de prova (três para cada condição) foram torneados com variação da velocidade de corte e do avanço, com base em um planejamento fatorial completo: $v_c = 20$ e 30 m/min, $f = 0,05$ e $0,15$ mm/volta. A profundidade de usinagem a_p foi mantida constante em $0,2$ mm. Após sua preparação, a rugosidade foi medida em três regiões distintas por um rugosímetro portátil Mitutoyo SJ210P, com *cut-off* de $0,8$ mm.

Para a segunda etapa, de maneira a se verificar a influência do banho corrosivo combinado à usinagem sobre a vida em fadiga do material, foram testados adicionalmente corpos de prova (cinco por condição) usinados com $v_c = 20$ m/min / $f = 0,05$ mm/volta e $v_c = 30$ m/min / $f = 0,15$ mm/volta, os quais permaneceram mergulhados em solução de 3,5% de NaCl durante 28 dias. Após sua retirada da imersão, os corpos de prova foram limpos com solução de amônia a 85%, inicialmente em um aparelho de ultrassom e, posteriormente, de forma manual. Finalmente, eles foram armazenados em uma dessecadora até a data dos ensaios de fadiga.

Os ensaios de perda de massa foram realizados com corpos de prova cilíndricos torneados com os parâmetros de corte recém-mencionados (três amostras por condição). Para imersão na solução de 3,5% de NaCl, suas extremidades (faces) foram isoladas com cola de cianoacrilato, a fim de evitar seu efeito na variação da massa. Assim como os corpos de prova preparados para a segunda etapa dos ensaios de fadiga, estes ficaram imersos durante um período de 28 dias e tiveram suas massas finais (assim como as iniciais) medidas por uma balança de precisão.

3 RESULTADOS

A caracterização dos corpos de prova foi realizada a partir da medição dos valores de rugosidade média e máxima após o torneamento com diferentes condições. Tais resultados são apresentados na Fig. 2.

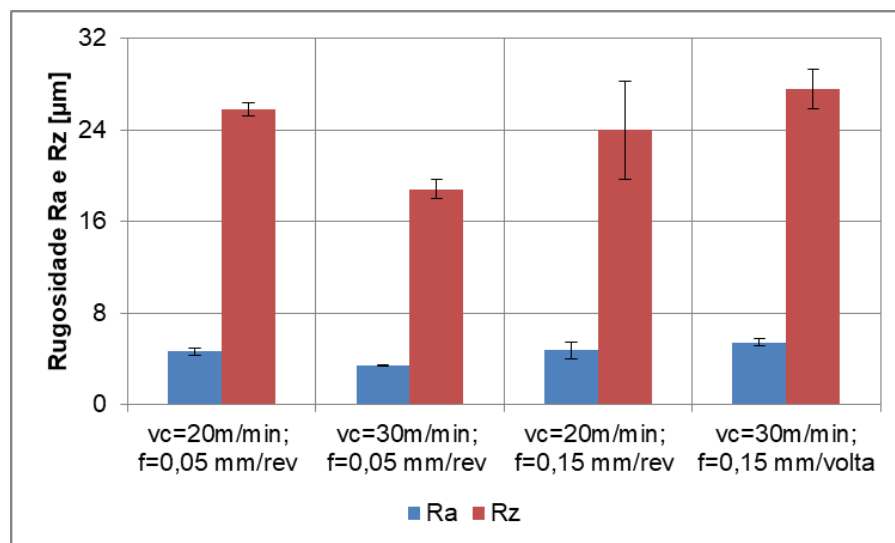


Figura 2. Valores de rugosidade medidos após o processo de torneamento com diferentes condições

Observa-se que, principalmente para maiores velocidades de corte, a redução do avanço leva a um menor valor de rugosidade (tanto Ra quanto Rz), o que era esperado em função da cinemática do processo. Já para a menor velocidade de corte, a variação do avanço por volta não causou alterações significativas, o que pode ser justificado pela maior dificuldade na remoção do material a baixas velocidades e adesão de material sobre a ferramenta, com formação instável de aresta postiça.

No caso do maior avanço por volta, seu efeito foi predominante sobre a rugosidade e a variação da velocidade de corte não a alterou de forma expressiva. Diferentemente, uma tendência de aumento da rugosidade com a redução da velocidade de corte foi observada para o menor avanço, o que é explicada pela formação de aresta postiça na ponta da ferramenta.

Os resultados dos ensaios de fadiga dos corpos de prova apenas usinados podem ser vistos na Fig. 3. Nota-se que a redução do avanço por volta gerou uma diminuição média no número de ciclos suportado pelos corpos de prova preparados com as duas velocidades de corte. O mesmo comportamento foi observado com a diminuição da velocidade de corte e manutenção do avanço. Assim, observa-se que o aumento do avanço por volta e da velocidade de corte levam a maiores vidas da peça nas condições testadas.

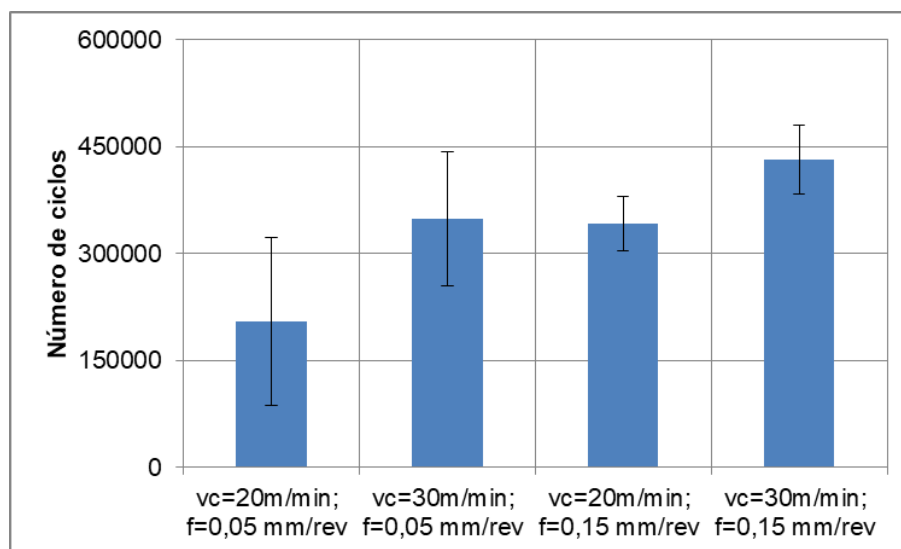


Figura 3. Números de ciclos obtidos nos ensaios de fadiga realizados em peças apenas usinadas

Sabendo-se que o aumento do avanço prejudica a rugosidade da peça torneada, o que ocorreu principalmente no caso da maior velocidade de corte, conclui-se que a qualidade superficial não influencia de forma significativa a vida em fadiga, a qual pode estar associada à tensão residual, que se torna mais compressiva com o aumento da carga mecânica proporcionado pelo maior valor de avanço. Por outro lado, o aumento da velocidade de corte deveria ter levado a maiores valores de carga térmica durante o processo, causando tensões residuais de tração, as quais, por sua vez, deveriam levar a menores vidas em fadiga, o que não ocorreu.

Assim, entende-se que o aumento da taxa de remoção de material, embora tenha prejudicado a superfície da peça, no balanço, deve ter induzido tensões residuais compressivas, o que levou a maiores números de ciclo.

Para a compreensão do efeito da corrosão sobre a vida em fadiga de peças torneadas, foram preparados corpos de prova apenas com a menor ($v_c = 20\text{ m/min}$ e $f = 0,05\text{ mm}$) e a maior ($v_c = 30\text{ m/min}$, $f = 0,15\text{ mm}$) taxa de remoção de material. A medição da perda de massa durante o banho corrosivo mostrou que os corpos de prova usinados com maior taxa de remoção de material perderam uma quantia de massa maior (0,38%) em comparação aos corpos de prova usinados com menor taxa de remoção de material (0,33%), representando uma diferença de aproximadamente 15% entre os dois tipos de peça. A Fig. 4 mostra o gráfico do número de ciclos para os corpos de prova usinados com as diferentes condições, comparando-se aqueles submetidos ao banho corrosivo com aqueles apenas usinados.

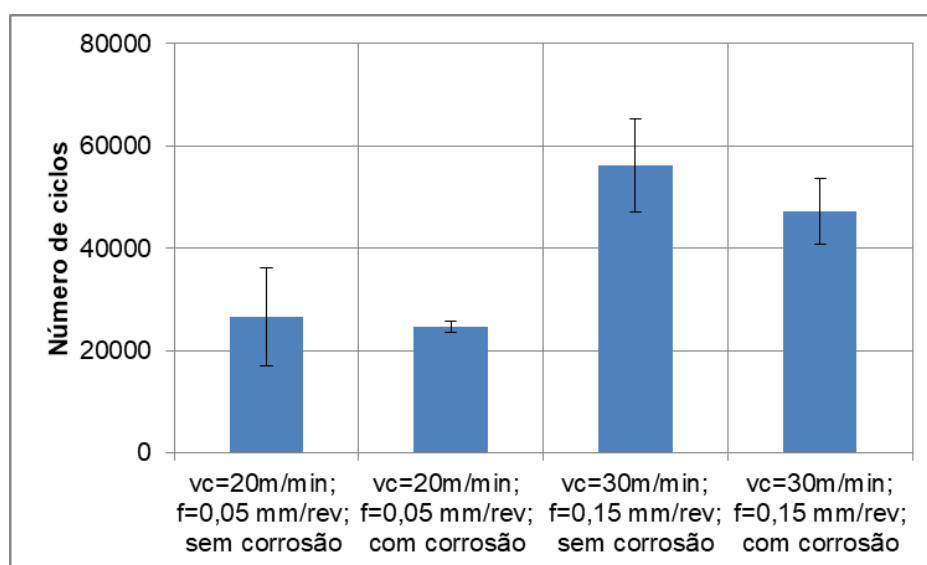


Figura 4. Números de ciclos obtidos nos ensaios de fadiga realizados em peças apenas usinadas e usinadas e submetidas a banho corrosivo

A partir da análise do gráfico, percebe-se que as peças usinadas com maiores taxas de remoção apresentaram maior vida em fadiga, mesmo após o processo de corrosão. Os corpos de prova com e sem corrosão não apresentaram diferenças significativas quando preparados por torneamento com menores taxas de remoção de material, o que, neste caso, implica que a corrosão não teve efeito sobre a redução da vida da peça, ao contrário do que ocorreu quando maiores taxas de remoção foram aplicadas. A redução da vida da peça quando esta foi submetida ao banho corrosivo pode ser explicada pela nucleação de irregularidades na superfície do material, que pode ter causado pontos de concentração de tensão.

Tanto para as peças apenas usinadas quanto para aquelas usinadas e envelhecidas, verifica-se que a utilização de parâmetros mais agressivos de remoção de material contribui para o aumento da vida em fadiga. Percebe-se também que a maior rugosidade não foi a principal responsável pela redução do número de ciclos das peças até a ocorrência de ruptura, apesar da maior perda de massa apresentada por elas. Como hipótese para explicação de tal fenômeno, pode-se considerar que essa perda de massa estava diretamente relacionada aos picos de rugosidade gerados na superfície, gerados devido ao maior valor de avanço por volta. Assim, a redução da massa neste caso não implicou diretamente na redução da seção resistente das peças.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, verificou-se que maiores taxas de remoção de material no processo de torneamento levaram a maiores vidas da peça quando submetidas a esforços de fadiga. Maiores valores de avanço e velocidade de corte combinados causaram aumento da vida da peça, mesmo quando esta foi imersa em banho corrosivo de 3,5% de NaCl, o que leva a crer que tensões residuais compressivas podem ter sido geradas na superfície e reduziram sua propensão à propagação de trincas. Assim, notou-se que a elevada rugosidade obtida neste caso não prejudicou a vida da peça em comparação à situação com menor rugosidade.

Entretanto, a corrosão teve efeito visível sobre a vida em fadiga apenas nos corpos de prova usinados com elevados valores de velocidade de corte e avanço, nos quais se entende ter havido nucleação de defeitos na superfície, embora a perda de massa tenha ocorrido principalmente nos picos de rugosidade.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSCar e pela concessão da bolsa de estudos.

6. REFERÊNCIAS

- Arola, D. e Williams, C.L., 2002. "Estimating the fatigue stress concentration factor of machined surfaces". *International Journal of Fatigue*, Vol. 24, p. 923-300.
- Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO). "Corrosão – uma abordagem geral". Disponível em: <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/israel/teoria/Teoria%20-%20Corrosao.pdf/at_download/file>. Acesso em junho de 2018.
- Carrasco, J.P., Araújo, B.A., Diniz, D.S., Barbosa, J.M.A. e Silva, A.A., 2011. "Simulação da evolução de uma trinca sob efeito de carregamento mecânico estático em meio corrosivo". *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, Vol. 6.1, p. 39-47.
- Corrêa, D.C., 2002. Usinabilidade de mancais bimetalicos: influência do avanço no desgaste e na formação de rebarbas. Dissertação de Mestrado. PUC Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Dai, W.B., Yuan, L.X., Li, C.Y., He, D., Jia, D.W. e Zhang, Y.M., 2018. The effect of surface roughness of the substrate on fatigue life of coated aluminum alloy by micro-arc oxidation. *Journal of Alloys and Compounds*, Vol. 765, p. 1018-1025.
- Haddad, M., Zitoune, R., Eyma, F. e Castanié, B., 2015. Influence of machining process and machining induced surface roughness on mechanical properties of continuous fiber composites. *Experimental Mechanics*, Vol. 55, p. 519-528.
- Lopes, K.F.S., 2006. *Influência dos parâmetros de usinagem na resistência à fadiga de aços AISI 4140*. Dissertação de Mestrado. PUC Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Zahavi, E. e Torbilo, V., 1996. *Fatigue Design: Life Expectancy of Machine Parts*. CRC, Boca Raton.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

FATIGUE STRENGTH OF SAE 1020 STEEL MACHINED AND SUBJECTED TO CORROSION

Michele Cravo de Lima

Gabriel Augusto da Silva

Prof. Carlos Della Rovere

Bruno Alexandre Roque

Prof. Marcos roberto Monteiro

Prof. Dr.-Ing. Carlos Eiji Hirata Ventura

Federal University of São Carlos. Rod. Washington Luis km 235, São Carlos, SP 13565-905, Brazil
michelecravoedelima@hotmail.com, gabrielsilva_12@yahoo.com.br, carlosdrovere@gmail.com,
brunoroque_engenharia@yahoo.com.br, marcosmonts@gmail.com, ventura@ufscar.br

Abstract. *Machining processes are widely used in the manufacturing of components subjected to mechanical, thermal and chemical stresses during their application. Knowing that the material removal operation influences the component characteristics, an appropriate process design is necessary in order to increase its lifetime. Thus, this work aims to determine the effect of cutting parameters on fatigue life of workpieces only machined as well as machined and subjected to corrosion in a 3.5% NaCl solution. In both situations, it has been shown that a combination of high cutting speed and feed leads to a longer fatigue life (approximately double) for a predetermined load. In this case, immersing the part in an aggressive environment led to a reduction of approximately 10% in the number of cycles.*

Keywords: *machining, fatigue life, corrosion*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.