

METODOLOGIA DE FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS COM CORREÇÃO DE PERFIL OBTIDAS POR MODELAGEM TRIDIMENSIONAL ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA

Rafael Juan Costa de Miranda, rjuancm@gmail¹
Paulo Roberto Cetlin, pzetlin@demet.ufmg.br¹
Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Universitário, CEP 31270.901, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil

Resumo: As engrenagens constituem-se num dos sistemas de transmissão mais utilizados em equipamentos mecânicos. Em particular, as engrenagens cilíndricas têm aplicação numa ampla faixa de capacidades, sendo possível utilizarem-se técnicas de correção ou deslocamento de perfil. Estas técnicas consistem basicamente em utilizar no perfil do dente, a parte da curva evolvente de círculo mais apropriada de acordo com o caso, conseguindo assim um melhor desempenho do engrenamento, reduzindo a interferência entre os dentes e melhorando o recobrimento e a capacidade de carga. No presente artigo desenvolve-se uma metodologia para fabricação de engrenagens cilíndricas retas em duas etapas. Inicialmente é feita a geração automática em plataforma para modelagem tridimensional considerando-se grandezas como o módulo, número de dentes, ângulo de pressão, fator de correção de perfil, etc. Posteriormente, através do uso de um programa didático previamente desenvolvido, são obtidos os códigos de comando numérico para fabricação, considerando-se o conceito de prototipagem rápida por retirada de material. A partir desta metodologia é possível fabricar-se as engrenagens cilíndricas retas com correção de perfil utilizando equipamentos e ferramentas convencionais.

Palavras-chave: engrenagem cilíndrica, prototipagem rápida, correção de perfil.

1. INTRODUÇÃO

Deste os primórdios da humanidade, o homem vem desenvolvendo equipamentos que possibilitem e facilitem suas tarefas diárias. Para tanto desenvolveram sistemas que apresentam “vantagem mecânica”, ou seja, possibilitam a multiplicação da força humana. Estes sistemas são chamados de máquinas simples: alavanca, plano inclinado/cunha, roda e eixo, sistema de polias/cadernal e rosca. Assim as atuais transmissões por engrenagens são exemplos de aplicação da roda e o eixo.

As engrenagens se constituem num dos tipos de transmissões mais utilizados e importantes. Tal fato pode ser em parte explicado pela grande variedade de tipos, faixas de aplicação e capacidades que podem ser utilizadas.

No sentido de melhorar as condições de engrenamento, utiliza-se a técnica de correção de perfil que consiste em alterar o formato do dente proporcionando a melhoria da capacidade de carga, o aumento da relação de redução e a redução de problemas de recobrimento e interferência.

No presente artigo desenvolve-se uma metodologia para fabricação de engrenagens cilíndricas retas em duas etapas. Inicialmente é feita a geração automática em plataforma para modelagem tridimensional considerando-se grandezas como o módulo, número de dentes, ângulo de pressão, fator de correção de perfil, etc. Posteriormente, através do uso de um programa didático previamente desenvolvido, são obtidos os códigos de comando numérico considerando-se o conceito de prototipagem rápida por retirada de material (Chen, 2002).

1.1. Transmissões por Engrenagens

As engrenagens apresentam relações definidas de movimento utilizando rodas dentadas. A relação entre o número de dentes da engrenagem maior (coroa) e da engrenagem menor (pinhão) define a relação de redução ou multiplicação. O tamanho do dente pode ser estabelecido pelo módulo que é uma grandeza que relaciona as várias grandezas das engrenagens tais como o diâmetro primitivo, número de dentes e ângulo de pressão (Dudley, 1984).

As engrenagens podem ser classificadas quanto ao tipo de dente, posição relativa entre eixos, relação de transmissão máxima, rendimento e tipos de engrenagens. Existem vários tipos de engrenagens, a saber: engrenagens cilíndricas, cônicas, parafuso sem fim coroa, de corrente, etc. As engrenagens cilíndricas podem ser retas ou helicoidais. A Figura (1) ilustra detalhe da nomenclatura dos dentes de uma engrenagem cilíndrica (Finzi, 1963).

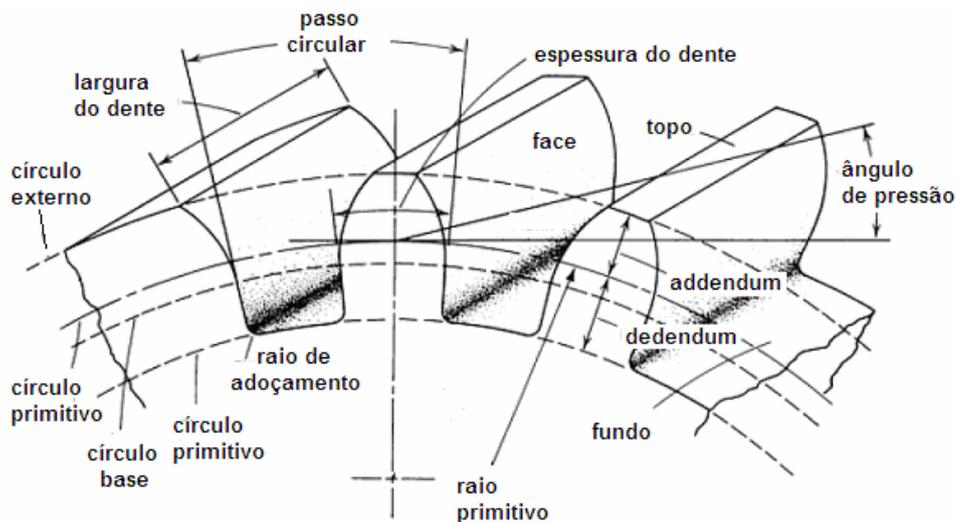


Figura 1. Detalhes da nomenclatura dos dentes de uma engrenagem cilíndrica.

Os perfis dos dentes das engrenagens mais utilizados são os cicloidais e evolvente de círculo. A curva evolvente de círculo pode ser expressa matematicamente e por isto é utilizado no desenvolvimento da técnica de correção de perfil. A Figura (2) indica a curva do perfil evolvente de círculo (Neimann, 1980).

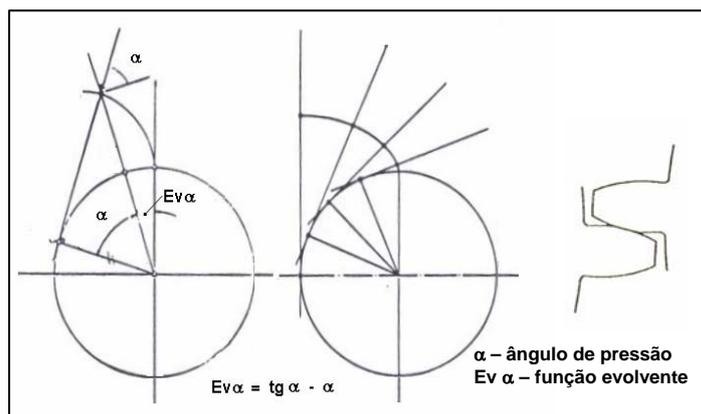


Figura 2. Curva do perfil evolvente de círculo.

Em muitos casos a utilização de engrenagens normais não atende às exigências de funcionamento imposto como no caso de grandes relações de redução onde há possibilidade de interferência ou há necessidade de aumentar-se a capacidade de carga mantendo-se a mesma distância entre centros.

A interferência é o fenômeno que acontece quando a cabeça do dente de uma engrenagem interfere provocando adelgaçamento no fundo do dente da outra engrenagem conjugada. Uma das causas da interferência é o uso de engrenagens com número mínimo de dentes abaixo do recomendado. Este número mínimo é função do tipo de perfil, ângulo de pressão e pode ser alterado pela técnica de correção de perfil.

O grau de recobrimento informa quantos pares de dentes se encontram acoplados num engrenamento ao mesmo tempo. O recobrimento deve ser maior que a unidade (1.2). As engrenagens cilíndricas helicoidais têm recobrimento maior que as engrenagens cilíndricas retas.

Para a resolução dos problemas de capacidade de carga, recobrimento e interferência utiliza-se a técnica de correção de perfil, também conhecida como técnica de deslocamento de perfil. Esta técnica consiste basicamente em utilizar no perfil do dente, a parte da curva evolvente de círculo mais apropriada de acordo com o caso, conseguindo assim um melhor desempenho do engrenamento. A técnica de correção de perfil se apresenta através de equações capazes de relacionar todas as grandezas envolvidas e utiliza como parâmetro de quantificação o fator de perfil (x).

A correção positiva proporciona dentes mais robustos, com maior capacidade de carga, entretanto reduz o recobrimento o que pode gerar, principalmente para as engrenagens cilíndricas retas, um valor muito próximo da unidade, gerando choques no engrenamento. Já a correção de perfil negativa possibilita o aumento do recobrimento,

porém piora a condição de interferência, além de gerar dentes com maior adelgaçamento com menos resistência de carga.

Existem três tipos de correção de perfil considerando-se o par pinhão coroa: a correção de perfil 0, V0 e V (Verschiebung). Na correção de perfil (0) o pinhão e a coroa não sofrem o processo da correção de perfil. A distância entre centros das engrenagens não se altera. O fator de correção de perfil do pinhão (x_1) e o fator de correção de perfil da coroa (x_2) são nulos.

Na correção de perfil (V0) o pinhão e a coroa sofrem o processo da correção de perfil. A distância entre centros das engrenagens não se altera. O fator de correção de perfil do pinhão (x_1) tem valor inverso ao do fator de correção de perfil da coroa (x_2). Na correção de perfil (V) o pinhão e a coroa sofrem o processo da correção de perfil. A distância entre centros das engrenagens se altera. O fator de correção de perfil do pinhão (x_1) não tem valor relacionado ao do fator de correção de perfil da coroa (x_2). A Figura (3) ilustra o conceito da técnica de correção de perfil.



Figura 3. Conceito da técnica de correção de perfil.

1.2. Programa Didático

Um programa didático previamente desenvolvido no Laboratório de Projetos Mecânicos foi utilizado para a obtenção dos códigos de comando numérico considerando-se o conceito de prototipagem rápida. Este programa funciona como programa “Client”, controlador das ações de comando sendo capaz de gerenciar programas “Slave” como o caso da plataforma CAD que disponibiliza uma interface de programação para que seus comandos sejam usados externamente. O programa foi desenvolvido na linguagem Visual Basic[®] 6 para controlar uma plataforma CAD (Erbe, 1999, Pertence, 2002, Pertence, 2005, Ruiz, 1999).

O programa permite o fatiamento dos sólidos nele gerados e ou importados diretamente da plataforma CAD ou modeladora de sólidos, através de arquivos com extensão DXF, de acordo com o intervalo e posição do plano de corte desejado, aplicando-se assim os fundamentos da prototipagem rápida. Posteriormente é feita a captura, tratamento e armazenamento das informações sobre os entes geométricos gerados pelo processo de fatiamento em cada plano de corte, ou seja, arcos e retas. A partir destas informações são criados arquivos de códigos básicos de comando numérico, possibilitando a criação de uma seqüência automatizada de usinagem dos perfis de cada plano de corte e, por conseguinte a construção física do sólido desejado.

Este processo embora seja simples, uma vez que relaciona diretamente cada ente geométrico ao código desejado, possibilita a geração de sólidos complexos que podem ser gerados a partir de sucessivos fatiamentos em até três diferentes planos ortogonais entre si. Os códigos são gerados em arquivos de dados (DAT) facilmente editáveis em qualquer sistema interpretador CAM.

2. METODOLOGIA

2.1. Modelagem das Engrenagens Cilíndricas

Inicialmente foram desenvolvidas planilhas eletrônicas em Excel[®] com equações relativas às relações geométricas e parametrizações das engrenagens cilíndricas retas visando obtenção dos dados tanto para definição do perfil com ou sem aplicação da técnica de correção de perfil, quanto para o levantamento das dimensões gerais necessárias a modelagem das engrenagens.

Foram considerados como dados de entrada o módulo, o número de dentes, o ângulo de pressão, o fator de correção de perfil, o ângulo da hélice e largura da engrenagem. A partir destes dados foram obtidas todas as grandezas gerais das engrenagens tais como diâmetro primitivo, diâmetro externo e diâmetro interno, diâmetro de base, passo e ângulo de simetria, além dos dados necessários para a construção da curva evolvente de círculo considerando ao longo do perfil ângulos de pressão variando entre 0° a 38° para atender a possibilidade de aplicação de fatores de correção de perfil positivos e negativos (Bair, 2004; Rose, 1990). A Figura (4) ilustra o exposto acima.

Para a modelagem das engrenagens cilíndricas foi utilizada a plataforma do Solidworks[®] release 2006 que recebeu os dados fornecidos pela planilha eletrônica Excel[®] de acordo com as diversas engrenagens a serem modeladas (Hsieh, 2004; Jehng, 2002).

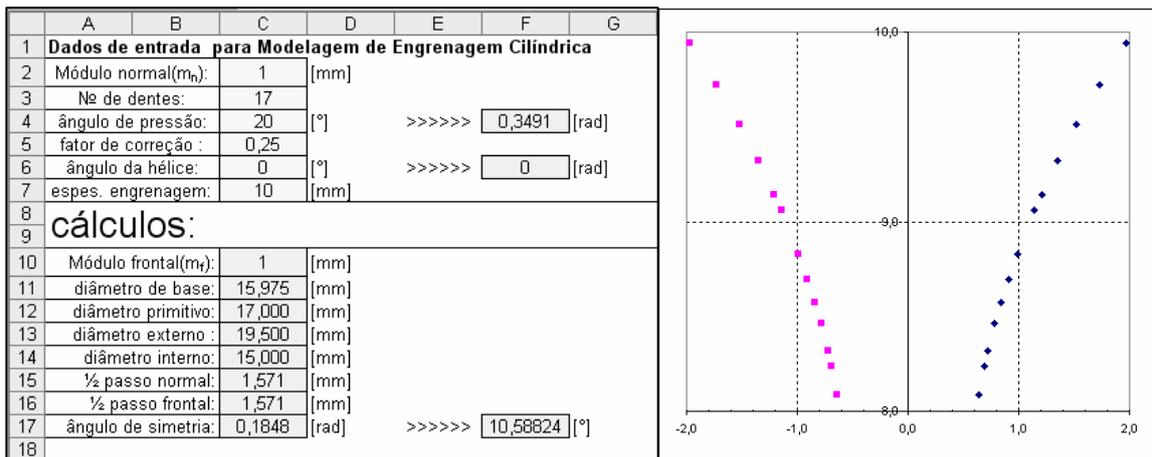


Figura 4. Exemplo de planilha eletrônica com os dados de entrada e das grandezas gerais das engrenagens cilíndricas e exemplo de gráfico representando o vão entre os dentes.

2.2. Códigos de Comando Numérico

Posteriormente foram gerados arquivos em DXF das engrenagens cilíndricas modeladas. Estes arquivos foram importados para o programa didático visando o processo de fatiamento. Utilizaram-se alguns intervalos de fatiamento para cada situação, de tal forma que pudesse inicialmente gerar arquivos de comando numérico para o processo de desbaste (5 mm entre planos de corte) e posteriormente o para o processo de acabamento (1 mm entre planos de corte). A Figura (5) indica a importação do arquivo DXF, o processo de fatiamento de desbaste e geração dos perfis em cada plano de corte de uma cada engrenagem cilíndrica reta.

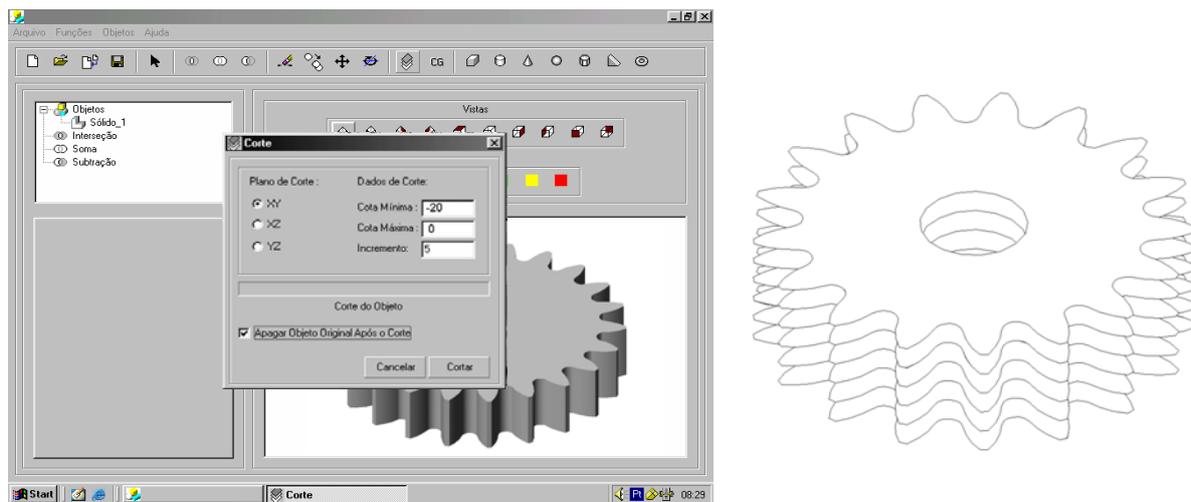


Figura 5. Importação do arquivo DXF para o programa didático, processo de fatiamento de desbaste e geração dos perfis em cada plano de corte de uma engrenagem cilíndrica reta.

2.3. Fabricação de Engrenagens

Uma vez que o processo de fatiamento desenvolvido, possibilitava apenas a geração dos perfis em cada plano de corte relacionado às superfícies dos sólidos das matrizes, para proceder-se a retirada de material em regiões internas não atingidas por este procedimento, foram utilizados sólidos auxiliares devidamente posicionados junto às engrenagens cilíndricas para a geração dos códigos de comando numérico desejados. Assim tornou-se possível a geração completa da engrenagem cilíndrica.

Para a geração do código de comando numérico é necessária a definição do diâmetro da fresa a ser utilizada considerando-se os comandos de compensação de raio. O diâmetro escolhido deve ser de tal que a passagem da fresa entre os dentes durante a construção de um flanco não venha ultrapassar a trajetória estabelecido para outro flanco. Isto limita as dimensões mínimas possíveis para fabricação. Para não serem utilizados comandos de compensação de raio da ferramenta, é possível trabalhar-se com uma trajetória de usinagem com sobre acréscimo (offset) do valor do raio da ferramenta quando da geração do perfil da engrenagem. A Figura (6) ilustra o exposto acima.

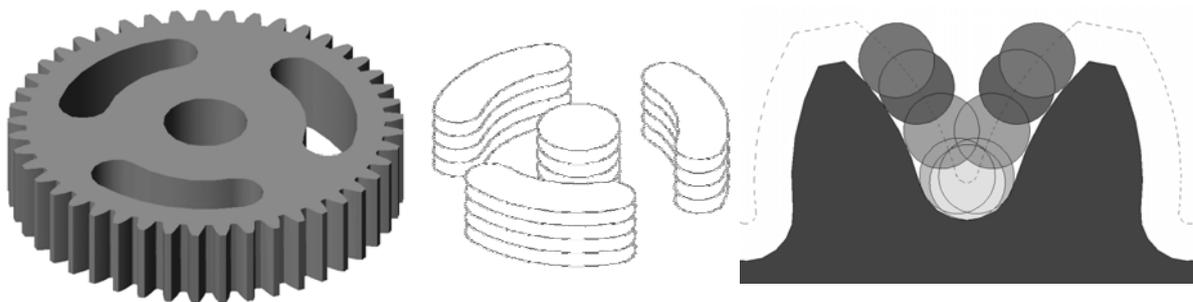


Figura 6. Geração dos perfis em cada plano de corte da parte interior da engrenagem e trajetória de usinagem com sobre acréscimo (offset) do valor do raio da ferramenta.

3. RESULTADOS E CONCLUSÃO

O uso da metodologia de fabricação de engrenagens cilíndricas com correção de perfil obtidas por modelagem tridimensional através de técnicas de prototipagem rápida, mostrou-se interessante na fabricação de pequenas peças para aplicação no ensino de Engenharia Mecânica. A utilização do conceito de prototipagem rápida por retirada de material mostrou-se ser bastante versátil, uma vez que camadas de pequena espessura podem ser trabalhadas, permitindo que se alcancem os perfis desejados com a aplicação da correção de perfil.

Os melhores resultados na aplicabilidade da metodologia, no âmbito do processo de fabricação, são alcançados para engrenagens cilíndricas retas, pois no caso das engrenagens cilíndricas helicoidais, haverá interferência da haste da ferramenta junto ao perfil da engrenagem. A Figura (7) ilustra a fabricação de uma engrenagem cilíndrica reta utilizando a metodologia proposta.

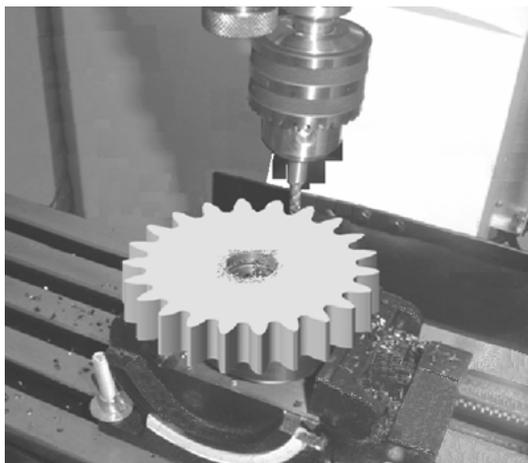


Figura 7. Exemplo de fabricação de uma engrenagem cilíndrica reta utilizando a metodologia proposta.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG pelo apoio financeiro destinado a pesquisa que propiciou o desenvolvimento deste artigo.

5. REFERÊNCIAS

- Bair, Biing-Wen, 2004, "Computer Aided Design of Elliptical Gears With Circular-Arc Teeth", Mechanism And Machine Theory, Vol. 39, Issue 2, February, pp. 153-168.
- Chen, Yi-Cheng, Tsay, Chung-Biau, 2002, "Stress Analysis of a Helical Gear Set with Localized Bearing Contact", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 38, Issue 8, June, pp. 707-723.
- Dudley, D. W., 1994, "Handbook of Practical Gear Design", Ed. McGraw-Hill, United States of America.
- Erbe, H. H., e Sepulveda, E., 1999, "La Tecnología de Prototipos Rápidos y sus Aportes al Desarrollo de Productos", Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.
- Finzi, D., 1963, "Engrenagens", Ed. Ao Livro Técnico, Rio De Janeiro, Brasil.
- Hsieh, Shang-Hsien, Modak, Sukomal, Sotelino, Elisa D., 2004 "Network Application Programming Interfaces (Apis) Performance on Commodity Operating Systems", Information and Software Technology, Vol. 46, Issue 6, May, pp. 397-402.

- Jehng, Wern-Kueir, 2002, "Computer Solid Modeling Technologies Applied to Develop and Form Mathematical Parametric Tooth Profiles of Bevel Gear and Skew Gear Sets", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 122, Issues 2-3, March, pp. 160-172.
- Niemann, G., 1980, "Elementos de Máquinas", Vol. III, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, Brasil.
- Pertence, A. E. M., Jardim, H. V., Santos, D. M. C., 2002, "Desenvolvimento de Modelos 3D em Plataforma CAD/CAM", Revista Máquinas e Metais. São Paulo, n.435, pp.296-311.
- Pertence, A. E. M., Cetlin, P. R., Santos, D. M., 2005, "The Development of 3-D Models Through Rapid Prototyping Concepts", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 168, n. 2, pp. 270-272.
- Rose, Chide, 1990, "User Interface Management System Implementation as Object-Oriented Database System Application", Computer-Aided Design, Vol. 22, Issue 8, October, pp. 480-488.
- Ruiz, A. A., Cruz, I. F.1999, "Sistema CAD/CAM Paramétrico", Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

METHODOLOGY OF CYLINDRICAL GEARS MANUFACTURING WITH STANDARD PROFILE MODIFICATION GOTTEN BY 3D MODELING THROUGH RAPID PROTOTYPING

Rafael Juan Costa de Miranda, rjuancm@gmail¹

Paulo Roberto Cetlin, pzetlin@demet.ufmg.br¹

Antônio Eustáquio de Melo Pertence, pertence@demec.ufmg.br¹

¹Federal University of the Minas Gerais State, Antônio Carlos Avenue, 6627, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, CEP 31270.901

Abstract: *The gears are most used systems of transmission in mechanical equipments. The cylindrical gears have applications in a large band of capacities. The gears use the techniques of standard profile modification. These techniques consist basically of using, in the profile of the tooth, the part of the more appropriate involute curve in accordance with the case, thus obtaining one better performance of the transmission, reducing the interference between teeth and improving the contact ratio and the capacity of load. In the present paper the methodology of cylindrical gears manufacturing is developed in two stages. Initially the automatic generation in platform 3D modeling is made considering the tooth module, number, pressure angle, modification profile factor. Later, through the use of the didactic software previously developed, are gotten the numerical codes for manufacture using the subtractive rapid prototyping. From this methodology is possible manufacture the cylindrical gears using conventional tools and equipments.*

Keywords: *cylindrical gear, rapid prototyping, standard profile modification.*