

# **CUIDADOS NA ESCOLHA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ENGRENAGENS CILÍNDRICAS RETAS E HELICOIDAIS**

**Marco Stipkovic Filho\***

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é informar a importância de uma escolha processual de usinagem conveniente, apoiada sempre no rigor das especificações, garantindo uma produção competitiva e precisa de sistemas engrenados para uma mesma potência transferida.

Destaca-se também o relacionamento que envolve os vários graus de acabamento e precisão com a variação do perfil antes e depois de um tratamento térmico recomendado.

De acordo com as especificações geométricas requeridas, estabelece-se o processo de fabricação, fixa-se a matéria-prima mais conveniente e impõem-se os beneficiamentos necessários.

Por último, são fixados os campos de utilização dos sistemas de corte e acabamento, recomendados para a fabricação do dentado.

## **Abstract**

The objective of this work is to provide informations as to the importance of choosing a machining process always based on the strictness of the specifications, assuring a competitive and precise production of geared systems for a same transferred power.

It is also important to notice the relation which involves the various levels of finishing and precision with the profile variation before and after a recommended heat treatment.

Depending on the specifications and geometry being required, a manufacturing process will be established. A more suitable raw material is required and the necessary processings are applied.

At last, fields of utilization the cutting and finishing systems being recommended, are established for the gear manufacturing.

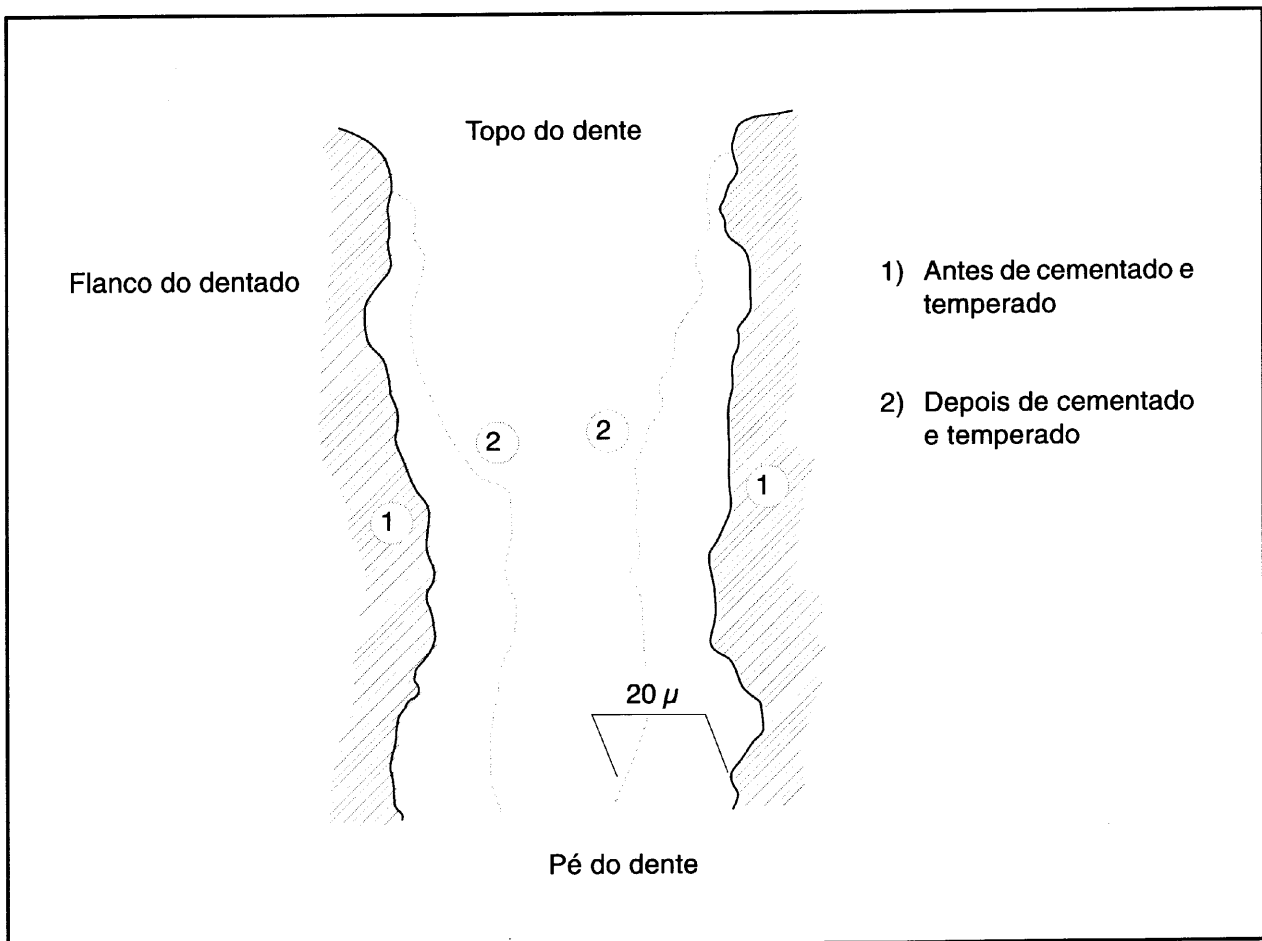
\* Universidade Presbiteriana Mackenzie.

Dos diferentes meios possíveis para a fabricação de uma engrenagem, critérios de mínimo custo e máxima precisão devem ser fixados. É sempre conveniente saber escolher o melhor, ou seja, em função das especificações propostas, produzir o mais barato possível e com a maior precisão, objetivando manter o poder de competitividade para uma mesma potência transferida.

Sabemos que um dentado poderá atingir vários graus de acabamento e precisão, podendo-se recorrer desde a uma simples fresagem, para um *shaving* ou ainda para uma retificação de flancos.

Da mesma forma, pode-se falar com relação aos tratamentos térmicos. A engrenagem poderá ser cementada e temperada, somente temperada por indução ou mesmo nitretada.

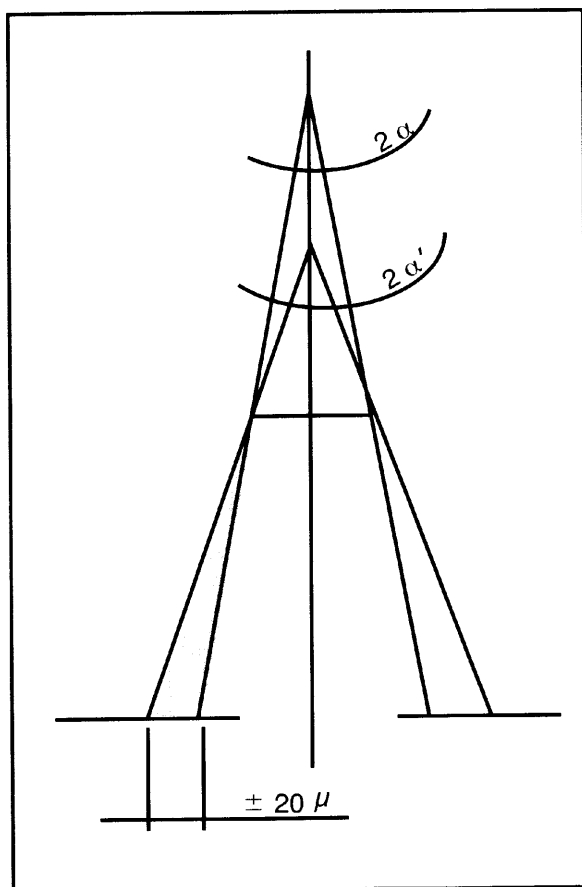
Para exemplificar, vamos tomar uma engrenagem cilíndrica de módulo  $m = 3$  e de material ABNT-1045, com  $Z = 21$  dentes e ângulo de hélice  $\beta = 12^{\circ}50'$ .



**Figura 1** Variação do perfil do dente antes e depois do tratamento térmico

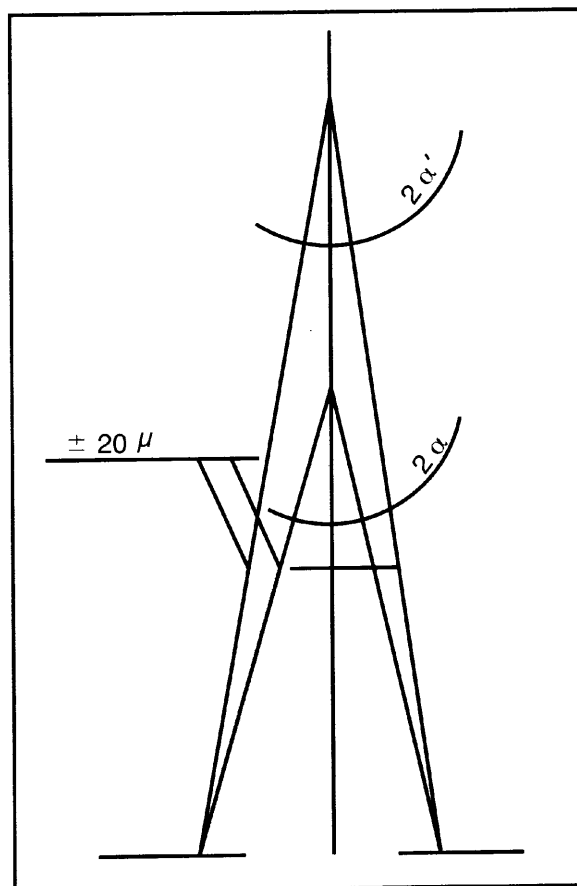
Nas engrenagens cilíndricas retas ou helicoidais tratadas termicamente com cementação e têmpera ocorre um fenômeno de aumento do ângulo de pressão (Figura 2) e nos casos de nitretação ou têmpera por indução ao contrário, ou seja, uma diminuição do ângulo de pressão (Figura 3).

$\alpha = \text{Ângulo de pressão } \alpha' > \alpha$



**Figura 2** Variação do ângulo de pressão para engrenagens cementadas e temperadas

$\alpha = \text{Ângulo de pressão } \alpha' < \alpha$



**Figura 3** Variação do ângulo de pressão para engrenagens temperadas por indução ou nitretadas

Esse fenômeno se justifica pela ocorrência de tensões maiores ou menores na cabeça ou no pé do dente. Quando do resfriamento, por exemplo, no caso de uma engrenagem cementada e temperada, a contração será menos acentuada no pé do dente do que na cabeça, o que provocará a deformação do ângulo de pressão salientada na Figura 2.

No caso de engrenagem cilíndrica de dentes helicoidais ocorre também uma variação no ângulo de hélice. Nas engrenagens cementadas e temperadas, essa ocorrência prática provoca uma tendência de diminuição do ângulo de hélice.

Numa engrenagem cilíndrica helicoidal de módulo  $m = 3\text{mm}$ ,  $Z = 21$  dentes e ângulo de hélice  $\beta = 12^\circ 50'$ , cementada e temperada, ocorreu uma diferença de três minutos de grau, enquanto para têmpera por indução ou nitretação não ocorre esse desvio de hélice.

Esses fatos exigirão cuidados especiais na usinagem. O conhecimento prévio das variações do ângulo de pressão ( $\alpha$ ) ou do ângulo de hélice ( $\beta$ ) em função da escolha do tratamento térmico determinará a fixação de fatores corretivos na fabricação.

A seguir, a título de exemplo, serão propostas metodologias processuais para a fabricação das engrenagens, Figuras 4a, 4b e 4c.

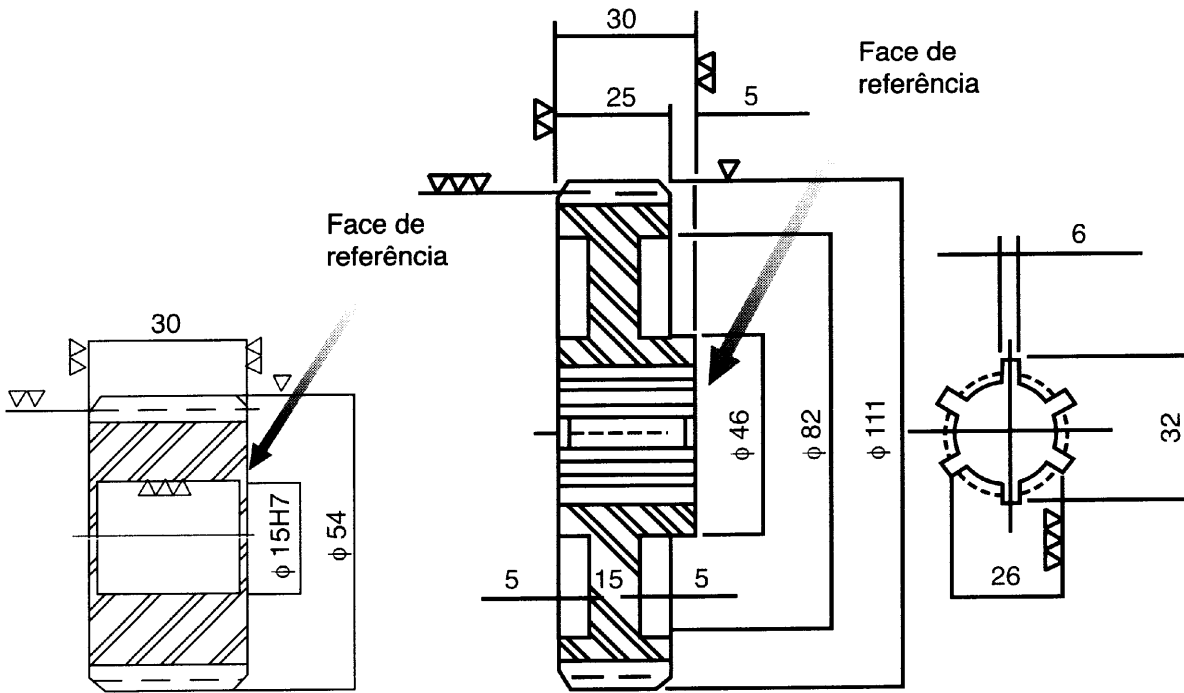
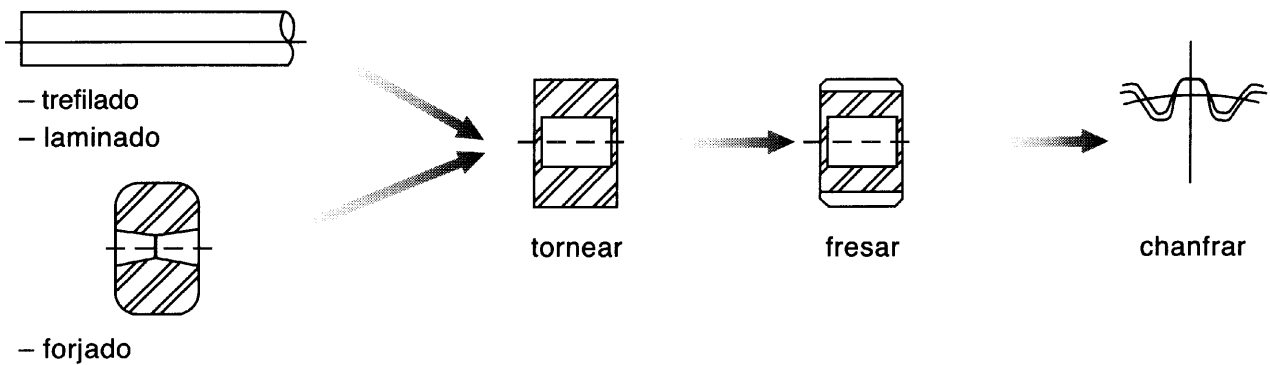


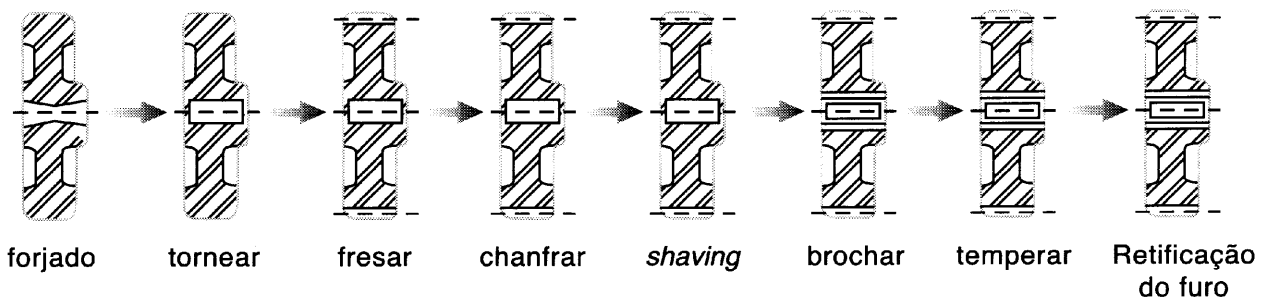
Figura 4a Pinhão

Figura 4b Coroa

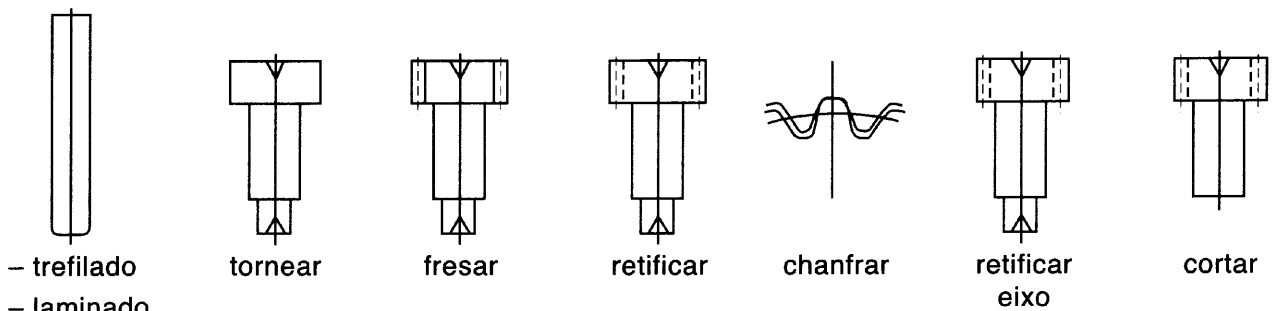
Figura 4c Eixo-pinhão



**Figura 5a** Seqüência operacional, fabricação do pinhão 4a



**Figura 5b** Seqüência operacional, fabricação da coroa 4b



**Figura 5c** Seqüência operacional, fabricação do eixo-pinhão 4c

Em função das especificações e geometrias requeridas, estabelece-se o processo de fabricação, fixa-se a matéria-prima conveniente e impõem-se os beneficiamentos necessários, do ponto de vista de tratamentos térmicos e precisão no acabamento.

No momento de individualizar os dados para as diferentes etapas de usinagem, convém considerar as distorções assinaladas anteriormente, introduzindo, onde necessário, as correções devidas.

Na eventualidade de ser exigido *shaving* ou retificação dos flancos, torna-se necessário o estabelecimento da quantidade de sobremetal exigida.

As Tabelas 1 e 2 oferecem, respectivamente, os valores de sobremetal exigidos para *shaving* e retificação de flancos.

TABELA 1

Recomendação de sobremetal para *shaving*

Módulo (mm)	Sobremetal (mm)
1,5	0,025 ~ 0,050
2,5	0,038 ~ 0,075
4	0,050 ~ 0,100
12	0,075 ~ 0,150

TABELA 2

Recomendação de sobremetal para retificação de flancos de dentes

Módulo (mm)	Sobremetal (mm)
1,5	0,13 ~ 0,25
2,5	0,20 ~ 0,38
4	0,30 ~ 0,64
8	0,65 ~ 0,15
12	1,15 ~ 1,90

Observação: valores máximos para engrenagens com tratamento térmico que proporcionam grandes deformações (por exemplo, cementação e têmpera).

Outra recomendação a ser considerada é relativa à centralização para retificação da engrenagem depois de fresada e tratada termicamente.

A Figura 6 apresenta uma forma para garantir essa centralização. Antes da operação dos flancos é obrigatória a retificação do furo do cubo da engrenagem. O assento para essa retificação do furo do cubo é, neste caso, obtido pelo apoio num dispositivo com esferas. Observa-se, ainda, que nos casos em que não é possível usar três esferas, devido ao número de dentes da engrenagem, recorre-se a uma retificação do diâmetro externo, da face e do furo.

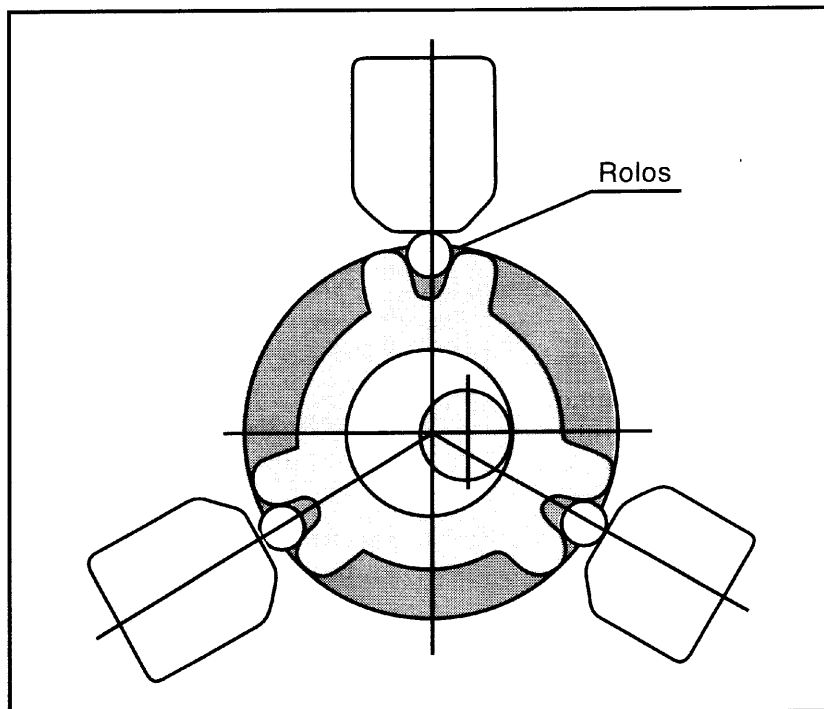


Figura 6 Retificação do furo com apoio em rolos

Esse cuidado de retificação do furo do cubo é para garantir um perfeito assento no mandril da máquina geradora de dentes ou na retífica para acabamento.

São necessárias, também, informações a respeito do campo de utilização dos sistemas de corte e acabamento recomendados para fabricação de dentados.

Assim, a Tabela 3 fornece, para os diferentes tipos, sistemas de corte e acabamento, os campos de utilização em função do módulo máximo da engrenagem.

TABELA 3

Campo de utilização de sistemas de corte e acabamento

Sistema de corte ou acabamento	Módulo máximo (mm)
Caracol (Rhenania)	30
Fellows	18
Fresa de forma	70 ~ 100
Shaving	12
Retífica	25

Seria conveniente, também, saber o relacionamento existente entre as facilidades de fabricação e a dureza do dentado. A Tabela 4 orienta-nos com relação a esse aspecto.

TABELA 4

Escolha do processo em função da dureza do dentado

Brinell (HB)	Dureza		Facilidade de fabricação
	Rockwell C (RC)		
150 ~ 200	—		Facílimo
200 ~ 250	24		Fácil
250 ~ 300	24-32		Pouca dificuldade no fresamento
300 ~ 350	32-38		Dificuldade no fresamento
350 ~ 400	38-43		Muita dificuldade no fresamento
500 ~ 550	51-55		Exigência de retífica
587	58-63		Necessidade de retificação
—	65-75		Somente depois de acabado, executar o tratamento térmico

No caso de cortadores de metal duro conhecidos como cortadores AZUMI, que apresentam de saída de cavaco  $\gamma$  negativo, pode-se estabelecer uma faixa de 350 a 400HB, dificuldades de usinagem e entre 500 e 550HB facilidades de usinagem, ou seja, quanto mais duro, melhor o comportamento do corte.

Outro aspecto a considerar refere-se ao relacionamento entre a classe de precisão requerida, segundo normas ISO, e o sistema de fabricação eleito (Tabela 5).

TABELA 5

Precisão "ISO" em função do processo de fabricação

Classe de precisão	4	5	6	7	8	9	10
<b>Sistema de fabricação</b>							
<i>Shaving</i>		████████████████████					
Maag, Sem		████████████████████					
Rhenania tratamento							████████████████████
ou térmico							████████████████████
<i>Fellows</i>							
<i>Shaving</i>					████████████████████		
Maag, Com					████████████████████		
Rhenania tratamento							████████████████████
ou térmico							████████████████████
<i>Fellows</i>							
Retífica		████████████████████					

Nesta tabela optamos pela norma ISO, pela dificuldade de apresentar um quadro que relacione as diferentes normas ISO, DIN, AGMA, JIS, etc., pois os valores considerados para a fixação do acabamento variam de norma para norma em função dos ângulos de pressão e hélice, do processo de fabricação, do perfil adotado, etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. STIPKOVIC, F. MARCO. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984.
2. STIPKOVIC, F. MARCO. *Usinagem*. São Paulo: EPUSP/MAUÁ, 1986 (apostila).
3. KAIDA, TOSHIO. *Fabricação de engrenagens*. Tóquio: Taira – Syuppan, 1976.
4. NIEMANN, G. *Tratado de elementos de máquinas*. São Paulo: Labor, 1967.