

插 齿 法

馬提尤申著



机械工业出版社

插齒法

馬國光等編



機械工業出版社

插 齒 法

馬 提 尤 申 著

魏 云 松 譯



机 械 工 業 出 版 社

1 9 5 7

出版者的話

本書着重叙述插制齿輪的切削过程。这是从切削原理及齿輪形插齿刀嚙合原理的观点来談的。書中詳細研究了小齿数插齿刀在切制齿輪时的特点。有关插齿过程中一般性的改进、成本的降低、生产率的提高,以及所切制齿輪質量的改善等方面也作了有根据的建議。

本書可作为制造齿輪的机器制造企业、工具制造企业与工程技术人员,机器制造研究所高等專門学校的科学工作者,以及「金屬切削加工」專業高等学生的参考書。

苏联 В. М. Матюшин 著 'Зубодолбление' (Машгиз 1953 年第一版)

*

*

*

NO. 1174

1957 年 6 月第一版 1957 年 6 月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字数 155 千字 印張 6^{1/4} 0,001— 4,300 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.20 元

目 次

原序	5
符号	8
一 插齿刀与被切制齿轮的啮合几何学, 以及插齿时的切削过程	11
1. 插齿刀构造的本質	11
2. 插齿刀与被切制齿轮的啮合几何学	16
齿輪形插齿刀的傳动类型	16
齿輪形插齿刀傳动参数的确定	20
确定齿輪形插齿刀傳动参数举例	22
3. 插齿时的切削过程, 切屑实际厚度的确定	23
4. 后角	41
5. 前角	46
二 插齿过程与插齿刀切削部分几何形状的实验性研究	49
1. 插齿过程的实验性研究	49
后角的研究	50
前角的研究	55
齐略宾斯基洛夫工厂内关于增加插齿刀前后角的試驗	57
細切齿的研究	61
2. 前角和后角对插齿刀及被切制齿轮齿形畸变的影响	61
3. 插齿刀齿形誤差 Δf_e 及 Δf_i 的确定	63
4. 前角及后角对插齿刀及被切制齿轮齿形影响的研究	66
5. 前角与后角的增大以及齿轮的齿腹加工	69
6. 前角及后角的建議数值	71
7. 大前角插齿刀的刃磨	73
三 用特种刃磨法加大插齿刀的前角	77
1. 插齿刀前面構造的一般分析	77
2. 插齿刀前面的橢圓刃磨	80
橢圓刃磨时插齿刀前角的确定	86
橢圓刃磨时插齿刀前角的分析	92

$m=2.5$ 公厘、 $z=30$ 的插齒刀,在橢圓刃磨時實際齒形誤差的研究.....94

3. 用雙圓錐砂輪依雙曲線刃磨插齒刀前面.....98

雙曲線刃磨時前角的確定.....107

四 插齒刀的合理構造.....115

1. 插齒刀設計時的基本任務.....115

2. 插齒刀齒條原始齒形的形狀與尺寸.....116

3. 選擇原始距離 a 值的基本觀點.....124

4. 過渡曲線與被插齒刀所切出的齒輪齒形間的抵觸.....127

5. 過渡曲線的研究.....136

6. 插齒刀齒頂的尖削度.....139

7. 標準插齒刀原始距離係數 ε 及徑向間隙 c' 的確定.....150

8. 插齒刀前面上尺寸的確定.....154

五 用小齒數插齒刀切制齒輪的特點.....156

1. 問題的本質.....156

2. 插齒刀切制齒條時,齒條頂部切去量的確定.....159

3. 插齒刀切制齒輪時,齒輪頂部切去量 n_p 及 h_p 的確定.....163

4. 齒條及齒輪當被插齒刀切制時,頂部切去量 n_p 及 h_p 的分析.....167

5. 過渡曲線在齒厚方向尺寸的確定.....172

6. 齒足加厚量 n 的分析.....175

7. 对小齒數插齒刀的工作及構造方面研究的結論.....181

六 插齒刀外廓尺寸的確定.....183

1. 一般性的問題.....183

2. 齒數、模數及節圓直徑的確定.....184

3. 原始距離值 a 的確定.....187

4. 插齒刀的結構形狀.....192

插齒刀計算舉例.....194

1. 用來切制未知齒數的齒輪的標準化插齒刀的計算.....194

2. 用來切制已知齒數及齒尺寸的齒輪的特种插齒刀的計算.....195

參考文獻.....198

中俄名詞對照表.....200

插 齒 法

馬 提 尤 申 著

魏 云 松 譯



机 械 工 業 出 版 社

1 9 5 7

出版者的話

本書着重叙述插制齿輪的切削过程。这是从切削原理及齿輪形插齿刀嚙合原理的观点来談的。書中詳細研究了小齿数插齿刀在切制齿輪时的特点。有关插齿过程中一般性的改进、成本的降低、生产率的提高，以及所切制齿輪質量的改善等方面也作了有根据的建議。

本書可作为制造齿輪的机器制造企业、工具制造企业与工程技术人員，机器制造研究所高等專門学校的科学工作者，以及「金屬切削加工」專業高等学生的参考書。

苏联 В. М. Матюшин 著 'Зубодолбление' (Машгиз 1953 年
第一版)

*

*

*

NO. 1174

1957 年 6 月第一版 1957 年 6 月第一版第一次印刷

850×1168^{1/32} 字数 155 千字 印張 6^{1/4} 0,001— 4,300 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价(10) 1.20 元

目 次

原序	5
符号	8
一 插齿刀与被切制齿輪的啮合几何学, 以及插齿时的切削过程	11
1. 插齿刀構造的本質	11
2. 插齿刀与被切制齿輪的啮合几何学	16
齿輪形插齿刀的傳动类型	16
齿輪形插齿刀傳动参数的确定	20
确定齿輪形插齿刀傳动参数举例	22
3. 插齿时的切削过程, 切屑实际厚度的确定	23
4. 后角	41
5. 前角	46
二 插齿过程与插齿刀切削部分几何形狀的實驗性研究	49
1. 插齿过程的實驗性研究	49
后角的研究	50
前角的研究	55
齐略宾斯克基洛夫工厂内关于增加插齿刀前后角的試驗	57
細切齿的研究	61
2. 前角和后角对插齿刀及被切制齿輪齿形畸变的影响	61
3. 插齿刀齿形誤差 Δf_e 及 Δf_i 的确定	63
4. 前角及后角对插齿刀及被切制齿輪齿形影响的研究	66
5. 前角与后角的增大以及齿輪的齿腹加工	69
6. 前角及后角的建議数值	71
7. 大前角插齿刀的刃磨	73
三 用特种刃磨法加大插齿刀的前角	77
1. 插齿刀前面構造的一般分析	77
2. 插齿刀前面的橢圓刃磨	80
橢圓刃磨时插齿刀前角的确定	86
橢圓刃磨时插齿刀前角的分析	92

$m=2.5$ 公厘、 $z=30$ 的插齒刀, 在橢圓刃磨時實際齒形誤差的研究	94
3. 用雙圓錐砂輪依雙曲線刃磨插齒刀前面	98
雙曲線刃磨時前角的確定	107
四 插齒刀的合理構造	115
1. 插齒刀設計時的基本任務	115
2. 插齒刀齒條原始齒形的形狀與尺寸	116
3. 選擇原始距離 α 值的基本觀點	124
4. 過渡曲線與被插齒刀所切出的齒輪齒形間的抵觸	127
5. 過渡曲線的研究	136
6. 插齒刀齒頂的尖削度	139
7. 標準插齒刀原始距離係數 ε 及徑向間隙 c' 的確定	150
8. 插齒刀前面上的尺寸的確定	154
五 用小齒數插齒刀切制齒輪的特點	156
1. 問題的本質	156
2. 插齒刀切制齒條時, 齒條頂部切去量的確定	159
3. 插齒刀切制齒輪時, 齒輪頂部切去量 n_p 及 h_p 的確定	163
4. 齒條及齒輪當被插齒刀切制時, 頂部切去量 n_p 及 h_p 的分析	167
5. 過渡曲線在齒厚方向尺寸的確定	172
6. 齒足加厚量 n 的分析	175
7. 对小齒數插齒刀的工作及構造方面研究的結論	181
六 插齒刀外廓尺寸的確定	183
1. 一般性的問題	183
2. 齒數、模數及節圓直徑的確定	184
3. 原始距離值 α 的確定	187
4. 插齒刀的結構形狀	192
插齒刀計算舉例	194
1. 用來切制未知齒數的齒輪的標準化插齒刀的計算	194
2. 用來切制已知齒數及齒尺寸的齒輪的特種插齒刀的計算	195
參考文獻	198
中俄名詞對照表	200

原 序

插齿与滚齿一样,是生产率最大而使用广泛的切齿过程之一。

在近代机器制造中应用着两种插齿方法:范成法,所使用的刀具是梳齿刀或插齿刀;以及仿形法,使用的刀具是插齿刀头,齿輪齿間的全部齿槽是一下子同时加工出来的。

用梳齿刀切齿是其中生产率最低的一种方法。这个方法在苏联已屬落伍之列,因此我們在这里不再予以討論,对此有兴趣的可参閱[1]●, [2]等書。

插齿刀头——是近来所出現的生产率最高的刀具。它起初是用来保証供应剃齿机用的毛坯。为了供应一台剃齿机以預先切制好的毛坯,需要若干台滚齿机或插齿机。

以插齿刀头工作的机床,本来是保証剃齿机毛坯供应的机床。可是由於目前在刀头制造的高級精密度方面的成就,本法近来在最后細插二級精度齿輪时也有应用的。

插齿刀头的缺点如下:用插齿刀头工作的机床只能限制於应用在大量生产的範圍內,因为第一,既定刀头只能用来切制一种齿数、模数及齿廓尺寸的齿輪;第二,一套刀具可以切制几千个齿輪,而刀头本身的使用期限則不一定很長。

此外,切制小齿数齿輪的刀头,它的切刀在兩側面上的后角也不夠大。

至於說到插齿刀头的优点,則除了生产率高以及所切制齿輪有足夠的精密度以外,还可以用它切制連列齿輪以及帶凸肩的齿輪。

插齿刀——是最早出現的用范成法工作的切齿刀具之一。

由於它的精度高,插齿刀通常用来最后加工經滚齿刀預切过

● 在[]內的数字是参考文献的号数,以后同。——編者

的輪齒。可是，近來由於滾齒刀構造精度的提高，以及其製造方法的改進，本類刀具已經開始用作為細切刀具。由於在一般情況下滾齒刀是一種比插齒刀生產率較高的刀具，因此總的說來，以滾齒代替插齒的趨勢應該承認是在發展着。可是在切齒方面的工作中，却因此而產生了認為插齒刀是一種落伍刀具的看法。這種錯誤的想法，是對插齒刀在切制齒輪時可能應用範圍的分析不夠深刻的結果。

插齒刀是切齒刀具中萬能性最高的刀具。如果說任何其他切齒刀具在切制圓柱齒輪以及與其相類似的制品時，其應用範圍有着某些限制，則用插齒法可以切制任何型式的圓柱齒輪。

現在簡單地列舉一下插齒刀的應用範圍，以及用插齒法是唯一可能的，或是與滾齒相比是比較更合理的加工方法的制品類型：1) 內嚙合齒輪；2) 連列齒輪及帶凸肩的齒輪；3) 用范成法切制的兩列斜齒之間沒有溝槽的精密人字齒輪；4) 用范成法切制的精密齒條；5) 扇形齒輪；6) 切制小齒數的非修正齒輪，切制時不帶根切，或是根切量極微。

用插齒刀切齒在很多情況下，甚至於在用來加工普通的圓盤形齒輪時，都比滾齒生產率高些。因為滾齒時需要很多的毛坯切入時間，特別是在切制斜齒輪和大齒數的齒輪時。

在作者的著作[4]中引述了用插齒法與滾齒法切齒時，機動時間的比較研究，由此可以得到大致的結論，就是插齒刀比較適合用來切制模數小、齒數多、齒圈寬度小以及齒斜角大的齒輪。至於在某些具體情況下應用插齒刀及滾齒刀的合理性的問題，則應依據在既定生產情況中所使用的切削用量統計確定。

蘇聯機器製造工業部全蘇工具科學研究所(ВНИИ ММ СССР)制定了獨創的在滾齒機上用插齒刀切制齒輪的新方法。

初步的試驗指出，在這種情況下切齒的生產率比滾齒要高出若干倍。

現代化的切齒技術對插齒刀在大量生產中的應用的問題，也

給予了合理的解決。

在同一本著作[4]中,引述了這些解決方法中的一種。組合插齒刀上有集合部分、粗切與細切用的刀齒以及用來取下及安裝毛坯的無齒空檔,它切削七個分布在插齒刀周圍各個主軸上的毛坯。毛坯完成着行星滾轉運動——繞着插齒刀軸心轉動,同時繞着本身的軸心轉動。

切制時的加工時間,對例如 $m=3$ 公厘、 $z=40$ 、 $b=30$ 公厘的齒輪說,是 0.85 分鐘一個齒輪。可是同樣的齒輪用插制刀頭切制需要 1 分鐘,而剃齒則需要 1.4 分鐘[●]。

由以上簡單的敘述,可以看出來插齒刀的应用範圍是如何的廣泛與多樣化,並且這種刀具即使在將來也仍將是最重要的切齒刀具之一,這種刀具在現代機器製造中有着它使用上的特長。

直到最近,切齒刀具切削部分的幾何形狀還是沒有顯著的變動。這是由於刀具切削部分幾何參數在多少比較顯著的範圍內的變動,照例將引起刀具齒形發生很大的改變,而超出這個齒形的公差範圍之外。本書中對這些幾何參數的某些變動的可能性與合理性的問題,給予了很大的注意。

本書中也敘述了我們對插齒刀切削部分幾何參數的實驗性研究的結果。這些研究結果也可以推廣應用在其他的插齒刀具上。這些研究的詳細敘述,包括在作者早期出版的著作[9]中。

下列屬於插齒問題範圍之內的一些主要問題:用插齒法獲得經過齒腹加工的齒輪,用插齒刀切制供下一步剃齒用的齒輪,利用插齒刀頭插齒等問題,由於本書篇幅所限,作者沒有在這裡予以提及。

● 根據 ВНИИ ММ СССР 切齒實驗室的資料。

符 号

下角字的意义

u —刀具；1—被刀具所切制的齿輪；2—配对齿輪； θ —节圓； o —基圓； e —齿頂圓； i —齿根圓； $1u$ —同时与齿輪及刀具有关的数值；12—有关配对齿輪系的数值； ϕ —齿腹； w —砂輪； σ —齿頂； δ —齿側面。

符号按拉丁及希臘字母順序排列

A_0 —零值齿輪間的中心距离(公厘)。

A_{1u}, A_{2u}, A_{12} —齿輪与插齿刀間以及修正齿輪間的中心距离(公厘)。

a —插齿刀的原始距离值(公厘)。

b —被切制齿輪的齿圈宽度(公厘)。

c —徑向間隙(公厘)。

c' —徑向間隙系数。

d —圓直徑(公厘)。

$d_{\theta u}, d_{\theta 1}, d_{\theta 2}$ —节圓直徑(公厘)。

d_{ou}, d_{o1}, d_{o2} —基圓直徑(公厘)。

d_{nu}, d_{n1}, d_{n2} —母圓直徑(公厘)。

d_w —砂輪直徑(公厘)。

f' —齿輪齿头高系数。

H —插齿刀的軸向高度(公厘)。

h'_u, h'_1, h'_2 —齿头高(公厘)。

h''_u, h''_1, h''_2 —齿足高(公厘)。

h_s —配对齿輪齿的落入深度(公厘)。

h'_c —齿头的工作高度(母圓与齿頂圓間的半徑距离)(公厘)。

h''_c —齿足的工作高度(公厘)。

$h_{\phi} = 0.45m$ —齿条的标准齿腹高度(公厘)。

$h_{\phi u}$ —插齿刀的齿腹高度(齿足加厚高度)(公厘)。

h_p —齿条或齿轮的齿头被插齿刀齿上非渐伸線部分所切去的高度(公厘)。

h'_p —同上的相对值($m=1$ 时)(公厘)。

m —模数。

n —齿条或齿轮的齿头被插齿刀齿上非渐伸線部分所切去的厚度,也代表齿轮齿足被配对齿轮根切的厚度。

n' —同上的相对值。

n_{fu} —插齿刀刀齿齿腹加工的厚度。

O_u, O_1, O_2 —插齿刀及齿轮的中心。

R_{eu}, R_{e1}, R_{e2} —齿顶圆半径(公厘)。

R_{iu}, R_{i1}, R_{i2} —齿根圆半径(公厘)。

$R_{\kappa'}$ —齿轮齿形有效部分最低点的半径(公厘)。

R_{κ} —齿轮齿上过渡曲线顶点的半径(公厘)。

r_{du}, r_{d1}, r_{d2} —节圆半径(公厘)。

r_{ou}, r_{o1}, r_{o2} —基圆半径(公厘)。

$r_u, r_1, r_2(r_{nu}, r_{n1}, r_{n2})$ —母圆半径(公厘)。

r_s —落入半径。

r_{ouf} —插齿刀齿腹渐伸線的基圆半径(公厘)。

$s_{\kappa p}$ —插齿刀一个往复行程的圆周进刀量(公厘)。

s_{pad} —徑向进刀量(公厘)。

s_{du}, s_{d1}, s_{d2} —节圆弧上的齿厚(公厘)。

s_e —齿顶圆弧上的齿厚(公厘)。

s_i —齿根圆弧上的齿厚(公厘)。

s_{nu}, s_{n1}, s_{n2} —母圆弧上的齿厚(公厘)。

T_M —加工的机动时间(分)。

t —嚙合距离(公厘)。

v —切削速度(公尺/分)。

x —齿条原始距离的移位置(公厘)。

z_u, z_1, z_2 —齿数。

α_g —插齿刀齿顶刃上的后角(度)。

α_{θ} —插齿刀的計算侧后角(在节圆柱截面上的后角)(度)。

α_{oc} —插齿刀在与齿形相垂直的截面(基圆柱上的截面)上的侧后角(度)。

α_d —齿条原始齿型的齿形角(度)。

α_u —插齿刀齿侧面上的齿条原始齿型的齿形角(度)。

α_{ϕ} —齿条上的齿腹角(度)。

$\alpha_{d\phi} = \alpha_d + \alpha_{\phi}$ —齿条上齿腹的原始齿型齿形角(度)。

α_e, α_f —齿顶圆,齿根圆上的压力角(度)。

α_{1u}, α_{2u} —插齿刀与齿轮间的啮合角(度)。

γ_d —插齿刀齿顶上的前角(度)。

γ_{ϕ} —插齿刀齿的侧前角(度)。

$\Delta f_e, \Delta f_f$ —齿顶圆,齿根圆上齿形的误差(公厘)。

ε —插齿刀原始距离系数。

θ —插齿刀两个刀齿间的转角。

λ —切削刃斜角(度)。

ξ_u, ξ_1, ξ_2 —齿条原始齿型的移位系数。

ξ_e —齿条原始齿型的感应移位系数。

σ_e —插齿刀在齿顶圆弧上的齿厚系数。

$\omega_u, \omega_1, \omega_2$ —角速度(弧度/秒)。

一 插齿刀与被切制齿轮的啮合几何学， 以及插齿时的切削过程

1 插齿刀构造的本質

作为一种切制刀具的插齿刀，是具备着适当切削角——齿顶及侧面上的前角与后角——的正齿轮或斜齿轮。插齿刀由经过热处理的工具钢制成。

从渐伸线齿轮啮合理论的观点看来，插齿刀是经过修正的圆柱齿轮，它的齿是由齿条的原始齿型变位而形成的，而齿在每一个与轴线垂直的截面上，齿型有着其独特的变位 $x = \xi m$ 。为便于理解这个原理，我们来看一下插齿刀在“共青团员”机床上用模数滚齿刀铣齿时的制造方法[10]。

机床的进刀传动系统是这样搭配的，使滚齿刀（图1）除了通常顺着制品轴心的垂直进刀量 OA 以外，同时还有着垂直轴心方向的水平进刀量 OB 。传动系统中这两个进刀量的大小已经事先算定，使滚齿刀的合成进刀量 OC 的方向与插齿刀轴心斜成 α_0 的角度，这个角度就等于插齿刀在齿顶上的后角。照这样的切制方式，在每一个与插齿刀轴心垂直的截面上，滚齿刀将与插齿刀保持着仅为该截面所特有的一定的中心距离。在任何一个垂直于插齿刀轴心的其他截面上，这个距离即将有所不同。因此对每个截面来说，齿条（滚齿刀）的原始齿形将具备其特有的变位。

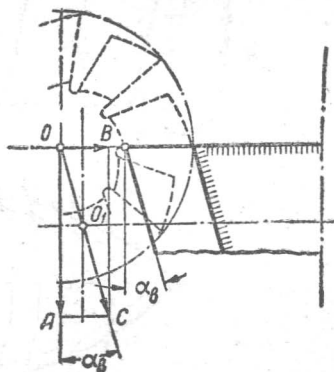


图 1