轉位セービングに就て⁽¹⁾

(昭和19年5月24日 第467回講演會に於て講演)

正員 新莊 謹一⁽²⁾

概 要

齒車のセービング仕上法は、精密齒車の多量生産に最も適してゐるものである。セービング仕上法に於て、セービングカッタと齒車とは、ねぢ齒車として嚙合つてゐるのであり、實際には種々の中心距離に於てセービング仕上することを考へておかねばならぬから、この時カッタと齒車とは轉位ねぢ齒車として嚙合ふことになる。この状態を轉位セービングと名付ける。本論文には轉位セービングに關し、セービングカッタの設計並にセービング仕上段取に必要な計算法を考究し、實用的な計算法を明らかにした。更に轉位セービングにおけるカッタと齒車との嚙合状態、同時嚙合齒數、セービングカッタの切削作用及び切刃、本仕上法の用途等に就ても述べる。

1. 緒 言

齒車のセービング仕上法は1~5分の短時間に、單一刻み誤差 $\pm 2 \sim 5 \mu$ 、齒形誤差 $2 \sim 5 \mu$ 程度の精密齒車を技術的に容易に仕上げ得る方法として知られ、現在齒車の多量生産に採用されてをり、將來益々廣く用ひられるやうになるものと思はれる。セービング仕上には、ラック型セービングカッタによる方法と齒車型セービングカッタによる方法とがあるが、こゝでは後者に就てのみ考究する。

セービングカッタの齒面はインポリュートねぢ面に研削仕上する。齒車をセービング仕上するには、カッタと齒車材とをねぢ齒車の状態で嚙合せ、ライブセンタ間に自由に回轉し得る如くに支えられてゐる齒車材を、カッタにて驅動してやればよいのである。この際齒面に滑り作用が起り、カッタと齒車材との中心距離を僅かづつ接近させれば、カッタが齒車材の齒面を仕上削りするものである。この切削の切込過程を考へてみるに、先づ齒面に仕上代を残せる齒車材とカッタとを略々齒面の遊びがなくなる程度にしつくりと嚙合せて置き、カッタを回轉せしむればこれに嚙合つてゐる齒車材も回轉することになり、齒車材をカッタに向つ

て近づけ、即ち中心距離を小さくしてゆけばカッタの齒の運動の邪魔になる部分が削り取られることになつて、所要の齒厚の齒車が仕上げられるのである。從てセービング仕上に於ては、カッタと齒車との中心距離は切削の前後では、その大きさが變化してゐることになる。この間の兩者の嚙合状態は或位置に於ては標準ねぢ齒車の嚙合状態であるとしても、その上下に於ては夫々轉位ねぢ齒車の嚙合状態となる譯である。

別にカッタの設計上又は製作の都合上、カッタの齒形に轉位を與へる(普通には(一)轉位を考へる、即ちカッタの外徑を標準の大きさよりも小さくすること)が必要になる。この時カッタと齒車との嚙合状態は常に轉位ねぢ齒車の嚙合(中心距離が標準値からかけ離れてゐる)となるのである。

又カッタの齒面の再研削を繰返すに伴ひカッタの齒厚は薄くなつてくる。齒厚が薄くなれば、齒車材と嚙合せた場合にカッタの齒先が齒車材の齒底にあたる迄中心距離を接近させても齒面には未だ遊びが残ることになるから、カッタの外徑を小さく研削することが必要になり、カッタは負轉位を受けることになる。

セービングカッタを設計し或は製作し、又は切刃の再研削を行ふ際並に齒車をセービング仕上する際には、上述せる如き種々の轉位ねぢ齒車の嚙合状態における、嚙合刻み圓の大きさと進み角等を明らかにして置く必要がある。本論文に於ては、先づこの轉位ねぢ齒車の

(1) Shaving the Gear at Various Centre Distances.
(2) Kin-iti SInzyō, Member, Nissan Jidōsya Kaisya Ltd., 日産自動車會社。

噛合状態に就て考究した。その結果逐次近似法を用いて歯切技術者が取扱ひ易い形で、噛合状態を計算することが出来たので實例の数値を付け加へ、この計算法につき詳しく説明する。

次にはセービング仕上に際し、カット切刃のどの部分が切削作用を行ふものであるかについて考究し、これを明らかにした。この結果により、セービング仕上作業におけるカット回轉方向、テーブル送り方向等を決定することが出来る。

最後に歯車セービング仕上法の用途について述べ、この方法が廣く、精密歯車の多量生産に應用さるべきであることを述べる。

2. ねじ歯車噛合状態

セービング仕上に於ては、一般にセービングカットがはすば歯車であり、歯車材もはすば歯車である。特別の場合として一方が平歯車となる場合がある。一般には、はすば歯車は、標準刻み圓における直角歯形が整数の直径刻み（又はモジュール）及び壓力角を有する機に作られてゐる。任意の進み角を有する二つのはすば歯車を噛合せたものが、ねじ歯車である。二つのはすば歯車がねじ歯車として噛合ふ際に丁度標準刻み圓と噛合刻み圓とが一致する如くに中心距離を選べば標準ねじ歯車となり、取扱は比較的容易である。併しセービング仕上の際は中心距離が變化するから噛合状態の刻み圓半径は變化し、所謂轉位ねじ歯車として噛合ふことになる。カットの設計に當つてはカットと歯車との種々の中心距離における各噛合刻み圓半径、各進み角及び同時噛合齒數等を知る必要があり、一方セービング仕上段取に際してはカットと歯車との軸角を何度にすべきかを知つて置く必要がある。以下實例につき、これ等の計算に就て述べる。

A. 噛合状態の計算 第1圖は右ねぢれはすば歯車たるカットと左ねぢれはすば歯車との標準状態における噛合をカットの側から見た圖である。カットの進み角を β_{c1} とし、歯車の進み角を β_1 とすれば、カットの軸と歯車の軸とは軸角 X_1 をなしてゐる。カットと歯車とを夫々軸方向に見た歯形が正面歯形である。第1圖の如くに記號を定める。カットと歯車とが噛合つてゐる部分を齒筋に直角に切斷せる面、所謂直角斷面内における齒形を假想平歯車齒形と名付ける。この齒形はねぢ歯車の共通直齒ラックの壓力角 α_{n1} に等しい壓力角で噛合つてゐる。

偕カットと歯車とが標準のねぢ歯車として噛合つてゐれば問題は簡單であり、普通に云ふはすば歯車の直角齒形の刻み點における刻み線の曲率半径が假想平

第 1 圖

歯車の刻み圓半径となり、はすば歯車の齒形齒數が假想平歯車の齒數となる。而してこれ等のはすば歯車を標準型のホブにより切削する場合を考へればこのホブの壓力角が共通直齒ラックの壓力角となるのである。

然るに轉位ねぢ歯車となり、例へば中心距離が標準の大きさよりも小さくなれば双方の噛合状態刻み圓半径は夫々、 R_{c0} 、 R_{g0} となるのであり、刻み圓の大きさが變れば、これに伴ひ新しい刻み圓における齒筋の進み角は、 β_{c0} 、 β_{g0} となつてくる。従て軸角は X となり、前に考へた X_1 とは異なつた大きさになる。又齒筋の進み角や刻み圓の大きさが變つたのであるから假想平歯車の形狀も異なつてくる譯である。

次にはねぢ歯車を齒面の遊びなしに噛合せた時分に丁度假想平歯車も齒面の遊びなしに噛合ふものと考えゐる。齒面の遊びがなくなる迄中心距離を近づけた場合における、ねぢ歯車の噛合が、セービング仕上の際にその儘當てはまる事になるのであるからこの條件を満たす如きねぢ歯車の噛合状態を求めようとするのである。

第 1 表

番号	力	歯 車
1	$Z_c = 83$	$Z = 22$
2	$\beta_{c1} = 67^\circ$	$\beta_1 = 80^\circ 02' 58.33''$
3	$\sin \beta_{c1} = 0.920 504 85$	$\sin \beta_1 = 0.984 885 94$
4	$\tan \beta_{c1} = 2.355 852 4$	$\tan \beta_1 = 5.686 274 0$
5	$T_{nc1} = 0.078 000 00$	$T_{n1} = 0.150 000 00$
6	$\alpha_{n1} = 20^\circ$	
7	$\cos \alpha_{n1} = 0.939 692 62$	
8	$NDP = 0$	
9	$X = \beta_1 - \beta_{c1} = 13' 02' 58.33''$	
10	$t_{n1} = (\pi / NDP) = 0.314 159 27$	
11	$R_{sc1} = \frac{Z_c}{2 \cdot NDP \sin \beta_{c1}} = 4.508 395 6$	$R_{s1} = \frac{Z}{2 \cdot NDP \sin \beta_1} = 1.116 880 6$
12	$\tan \alpha_{sc1} = \frac{\tan \alpha_{n1}}{\sin \beta_{c1}} = 0.395 402 84$	$\tan \alpha_{s1} = \frac{\tan \alpha_{n1}}{\sin \beta_1} = 0.369 555 72$
13	$\alpha_{sc1} = 21' 573 983^\circ$	$\alpha_{s1} = 20' 282 080^\circ$
14	$T_{sc1} = \frac{T_{nc1}}{\sin \beta_{c1}} = 0.084 736 11$	$T_{s1} = \frac{T_{n1}}{\sin \beta_1} = 0.152 301 90$
15	$g_c = R_{sc1} \cos \alpha_{sc1} = 4.192 553 4$	$g = R_{s1} \cos \alpha_{s1} = 1.047 631 1$
16	$R_{nc1} = \frac{R_{sc1}}{\sin \beta_{c1}} = 5.320 713 3$	$R_{n1} = \frac{R_{s1}}{\sin \beta_1} = 1.151 422 9$
17	$Z_{nc1} = \frac{Z_c}{\sin \beta_{c1}} = 106.414 26$	$Z_{n1} = \frac{Z}{\sin \beta_1} = 23.028 459$
18	$\text{inv } \alpha_{nc} = \frac{T_{nc1} - t_{n1} + T_{n1}}{2 R_{nc1} \{1 + Z_{n1}/Z_{nc1}\}} + \text{inv } \alpha_{n1} = 0.008 248 21$	
19	$\alpha_{nc} = 16.509 164^\circ$	
20	$\cos \alpha_{nc} = 0.958 874 29$	
21	$R'_{nc} = R_{nc1} \frac{\cos \alpha_{n1}}{\cos \alpha_{nc}} = 5.214 819 7$	$R'_n = R_{n1} \frac{\cos \alpha_{n1}}{\cos \alpha_{nc}} = 1.128 507 1$
22	$\Delta R'_c = R'_{nc} - R_{nc1} = -0.005 893 6$	$\Delta R' = R'_n - R_{n1} = -0.022 915 8$
23	$R'_s = R_{sc1} + \Delta R'_c = 4.402 502 0$	$R'_s = R_{s1} + \Delta R' = 1.093 946 8$
24	$\tan \beta'_c = \tan \beta_{c1} \frac{R_{sc1}}{R'_s} = 2.412 517 8$	$\tan \beta' = \tan \beta_1 \frac{R_{s1}}{R'_s} = 5.805 397 1$
25	$\beta'_c = 67' 485 762^\circ$	$\beta' = 80' 226 493^\circ$
26	$\sin \beta'_c = 0.923 784 40$	$\sin \beta' = 0.985 486 50$
27	$X' = \beta' - \beta'_c = 12' 740 731^\circ$	
28	$\cos \alpha'_{sc} = \frac{g_c}{R'_s} = 0.952 311 53$	$\cos \alpha'_s = \frac{g}{R'_s} = 0.957 646 07$
29	$\alpha'_{sc} = 17' 765 830^\circ$	$\alpha'_s = 16' 735 140^\circ$
30	$\tan \alpha'_{sc} = 0.320 407 15$	$\tan \alpha'_s = 0.300 683 01$
31	$\tan \alpha'_{nc} = \tan \alpha_{nc} \sin \beta'_c = 0.295 987 13$	$\tan \alpha'_n = \tan \alpha_{n1} \sin \beta' = 0.296 319 05$
32	$\alpha'_{nc} = 16.488 076^\circ$	$\alpha'_n = 16.505 560^\circ$
33	$\cos \alpha'_{nc} = 0.958 878 82$	$\cos \alpha'_n = 0.958 792 16$
34	$\alpha'' = (\alpha'_{nc} + \alpha'_n) / 2 = 16.496 818^\circ$	
35	$\tan \alpha'' = 0.296 153 09$	
36	$\cos \alpha'' = 0.958 835 50$	
37	$R''_{nc} = R'_{nc} \frac{\cos \alpha'_{nc}}{\cos \alpha''} = 5.215 055 3$	$R''_n = R'_n \frac{\cos \alpha'_n}{\cos \alpha''} = 1.128 456 1$
38	$\Delta R''_c = R''_{nc} - R_{nc1} = +0.000 235 6$	$\Delta R'' = R''_n - R_{n1} = -0.000 051 0$
39	$R''_s = R_{sc1} + \Delta R''_c = 4.402 737 6$	$R''_s = R_{s1} + \Delta R'' = 1.093 913 8$
40	$\tan \beta''_c = \tan \beta_{c1} \frac{R_{sc1}}{R''_s} = 2.412 388 7$	$\tan \beta'' = \tan \beta_1 \frac{R_{s1}}{R''_s} = 5.805 657 7$
41	$\beta''_c = 67' 484 677^\circ$	$\beta'' = 80' 226 940^\circ$
42	$\sin \beta''_c = 0.923 777 15$	$\sin \beta'' = 0.985 446 82$
43	$X'' = \beta'' - \beta''_c = 12' 742 263^\circ$	
44	$t''_{sc} = \frac{2\pi R''_{sc}}{Z_c} = 0.333 291 76$	$t''_s = \frac{2\pi R''_s}{Z} = 0.312 421 05$
45	$t''_{nc} = t''_{sc} \sin \beta''_c = 0.307 887 51$	$t''_n = t''_s \sin \beta'' = 0.307 874 33$
46	$\tan \alpha''_{sc} = \frac{\tan \alpha''}{\sin \beta''_c} = 0.320 589 32$	$\tan \alpha''_s = \frac{\tan \alpha''}{\sin \beta''} = 0.300 526 71$
47	$\alpha''_{sc} = 17' 775 295^\circ$	$\alpha''_s = 16' 726 927^\circ$
48	$T''_{sc} = 2R''_{sc} \left[\frac{T_{sc1}}{2R_{sc1}} + \text{inv } \alpha_{sc1} \right]$	$T''_s = 2R''_s \left[\frac{T_{s1}}{2R_{s1}} + \text{inv } \alpha_{s1} \right]$
49	$\text{inv } \alpha''_{sc} = 0.157 719 36$	$\text{inv } \alpha''_s = 0.164 440 82$
49	$T''_{nc} = T''_{sc} \sin \beta''_c = 0.145 697 54$	$T''_n = T''_s \sin \beta'' = 0.162 047 68$

第 2 表

番号	力	歯 車
101	$Z_c = 83$	$Z = 22$
102		
103	$\sin \beta_{c1} = 0.923 777 15$	$\sin \beta_1 = 0.985 446 82$
104	$\tan \beta_{c1} = 2.412 388 7$	$\tan \beta_1 = 5.805 657 7$
105	$T_{nc1} = 0.145 697 54$	$T_{n1} = 0.162 047 68$
106	$\alpha_{n1} = 16.496 818^\circ$	
107	$\cos \alpha_{n1} = 0.958 835 50$	
108		
109		
110	$(45) \text{ の平均値 } t_{n1} = 0.307 880 82$	
111	$R_{sc1} = 4.402 737 6$	$R_{s1} = 1.093 913 8$
112		
113		
114		
115	$g_c = 4.192 553 4$	$g = 1.047 631 1$
116	$R_{nc1} = \frac{R_{sc1}}{\sin \beta_{c1}} = 5.159 271 4$	$R_{n1} = \frac{R_{s1}}{\sin \beta_1} = 1.126 462 4$
117	$Z_{nc1} = \frac{Z_c}{\sin \beta_{c1}} = 105.287 41$	$Z_{n1} = \frac{Z}{\sin \beta_1} = 22.989 160$
118	$\text{inv } \alpha_{nc} = \frac{T_{nc1} - t_{n1} + T_{n1}}{2 R_{nc1} \{1 + Z_{n1}/Z_{nc1}\}} + \text{inv } \alpha_{n1} = 0.008 218 51$	
119	$\alpha_{nc} = 16.489 771^\circ$	
120	$\cos \alpha_{nc} = 0.958 870 42$	
121	$R'_{nc} = R_{nc1} \frac{\cos \alpha_{n1}}{\cos \alpha_{nc}} = 5.159 083 5$	$R'_n = R_{n1} \frac{\cos \alpha_{n1}}{\cos \alpha_{nc}} = 1.126 421 4$
122	$\Delta R'_c = R'_{nc} - R_{nc1} = -0.000 187 4$	$\Delta R' = R'_n - R_{n1} = -0.000 041 0$
123	$R'_s = R_{sc1} + \Delta R'_c = 4.402 549 7$	$R'_s = R_{s1} + \Delta R' = 1.093 872 8$
124	$\tan \beta'_c = \tan \beta_{c1} \frac{R_{sc1}}{R'_s} = 2.412 491 7$	$\tan \beta' = \tan \beta_1 \frac{R_{s1}}{R'_s} = 5.805 875 3$
125	$\beta'_c = 67' 485 542^\circ$	$\beta' = 80' 227 299^\circ$
126	$\sin \beta'_c = 0.923 782 93$	$\sin \beta' = 0.985 488 88$
127	$X' = \beta' - \beta'_c = 12' 741 757^\circ$	
128	$\cos \alpha'_{sc} = \frac{g_c}{R'_s} = 0.952 301 21$	$\cos \alpha'_s = \frac{g}{R'_s} = 0.957 726 42$
129	$\alpha'_{sc} = 17' 767 768^\circ$	$\alpha'_s = 16' 719 106^\circ$
130	$\tan \alpha'_{sc} = 0.320 444 43$	$\tan \alpha'_s = 0.300 717 89$
131	$\tan \alpha'_{nc} = \tan \alpha_{nc} \sin \beta'_c = 0.296 021 11$	$\tan \alpha'_n = \tan \alpha_{n1} \sin \beta' = 0.296 019 07$
132	$\alpha'_{nc} = 16.489 866^\circ$	$\alpha'_n = 16.489 758^\circ$
133	$\cos \alpha'_{nc} = 0.958 869 95$	$\cos \alpha'_n = 0.958 870 49$
134	$\alpha'' = (\alpha'_{nc} + \alpha'_n) / 2 = 16.489 812^\circ$	
135	$\tan \alpha'' = 0.296 020 09$	
136	$\cos \alpha'' = 0.958 870 22$	
137	$R''_{nc} = R'_{nc} \frac{\cos \alpha'_{nc}}{\cos \alpha''} = 5.159 062 0$	$R''_n = R'_n \frac{\cos \alpha'_n}{\cos \alpha''} = 1.126 421 7$
138	$\Delta R''_c = R''_{nc} - R_{nc1} = -0.000 001 5$	$\Delta R'' = R''_n - R_{n1} = +0.000 000 3$
139	$R''_s = R_{sc1} + \Delta R''_c = 4.402 548 2$	$R''_s = R_{s1} + \Delta R'' = 1.093 873 1$
140	$\tan \beta''_c = \tan \beta_{c1} \frac{R_{sc1}}{R''_s} = 2.412 492 5$	$\tan \beta'' = \tan \beta_1 \frac{R_{s1}}{R''_s} = 5.805 873 7$
141	$\beta''_c = 67' 485 549^\circ$	$\beta'' = 80' 227 297^\circ$
142	$\sin \beta''_c = 0.923 782 98$	$\sin \beta'' = 0.985 488 88$
143	$X'' = \beta'' - \beta''_c = 12' 741 748^\circ$	
144	$t''_{sc} = \frac{2\pi R''_{sc}}{Z_c} = 0.333 277 42$	$t''_s = \frac{2\pi R''_s}{Z} = 0.312 409 43$
145	$t''_{nc} = t''_{sc} \sin \beta''_c = 0.307 876 01$	$t''_n = t''_s \sin \beta'' = 0.307 876 02$
146	$\tan \alpha''_{sc} = \frac{\tan \alpha''}{\sin \beta''_c} = 0.320 443 33$	$\tan \alpha''_s = \frac{\tan \alpha''}{\sin \beta''} = 0.300 378 92$
147	$\alpha''_{sc} = 17' 767 710^\circ$	$\alpha''_s = 16' 719 160^\circ$
148	$T''_{sc} = 2R''_{sc} \left[\frac{T_{sc1}}{2R_{sc1}} + \text{inv } \alpha_{sc1} \right]$	$T''_s = 2R''_s \left[\frac{T_{s1}}{2R_{s1}} + \text{inv } \alpha_{s1} \right]$
148	$\text{inv } \alpha''_{sc} = 0.157 832 32$	$\text{inv } \alpha''_s = 0.164 461 48$
149	$T''_{nc} = T''_{sc} \sin \beta''_c = 0.145 802 81$	$T''_n = T''_s \sin \beta'' = 0.162 044 96$

第 4 表

計算 回数		α_n	$R_{sc} \text{ mm}$	$R_s \text{ mm}$	$C - R_{sc} + R_s$	$X - \beta - \beta_c$	$t_n \text{ mm}$
仮 定		20°	114.517 53	28.369 83	142.887 36	$13^\circ 01' 33''$	7.979 94
I	A	$16^\circ 29' 17''$	111.827 73	27.787 75	139.615 48	$12^\circ 44' 27''$	
	B 歯車	$16^\circ 30' 20''$	111.833 72	27.786 45	139.620 17	$12^\circ 44' 32''$	7.820 63 7.820 30
II	A	$16^\circ 29' 23''$	111.828 94	27.785 41	139.614 35	$12^\circ 44' 30''$	
	B 歯車	$16^\circ 29' 23''$	111.828 91	27.785 42	139.614 33	$12^\circ 44' 30''$	7.820 34 7.820 34
III	A	$16^\circ 29' 24''$	111.828 97	27.785 43	139.614 40	$12^\circ 44' 30''$	
	B 歯車	$16^\circ 29' 24''$	111.828 96	27.785 43	139.614 39	$12^\circ 44' 30''$	7.820 35 7.820 35

一般にねじ歯車の噛合を研究するには、双方のはずば歯車に夫々噛合ひ、且互に正しく噛合ふ如き、共通直歯ラックを採つて考へるのが好都合である。この共通直歯ラックは、第1圖に示せる如き假想平歯車に噛合ふものである。而して、この直歯ラックは夫々のはずば歯車に噛合ふ、はずばラックと歯面を共通にするものである。この様な條件を満たし且歯面に遊びのないやうなねじ歯車の噛合状態を求めようとするのであるが、この計算は相當面倒であると思はれるので、次の如き逐次近似の方法で計算を行ふことにした。

先づ第1表に示す如き例題のカッタと歯車とを採つて考へよう。この例ではカッタの歯厚が稍薄くなつてをりカッタ自身が負轉位を受けてゐるので、こゝに取扱ふ計算は、負轉位のねじ歯車の噛合状態の計算といふことになる。尙實用上は不必要であるが、こゝでは近似計算がどの程度の近似度を有してゐるかを明確に知るために、特に數字8桁まで計算してみることにした。

最初に、カッタと歯車との中心距離が標準の大きさであると假定する。この場合のカッタと歯車との軸角、各正面歯形、假想平歯車歯形の關係は第1圖の如くなる。各記號の内右下に1を添えたものが標準状態における値を表はしカッタ側の記號には右下にcを添えてある。例へば、第1表番號(2)の欄に就て云へば、カッタの標準刻み圓における進み角が β_{c1} であり、歯車の標準刻み圓における進み角が β_1 である。更に正面歯形に關する値にはsを添え、假想平歯車歯形に關する値にはnを添える。例へば正面歯形の標準刻み圓半径がカッタでは R_{sc1} 、歯車では R_{s1} の如きであり、假想平歯車歯形の標準刻み圓半径がカッタでは R_{nc1} 、歯車では R_{n1} の如きである。(17)までの計算は一般のはずば歯車におけると全く同様である。こゝ迄に求めた假想平歯車歯形の噛合に於ては(10)に計算せる、この場合の線刻み t_{n1} に比べて、カッタと歯車歯形の弧歯厚の和 $(T_{nc1} + T_{n1})$ の方が小さいので二つの假想平歯車歯形間には歯面に遊びが残つてゐる。この二つの假想平歯車の中心距離を縮めて双方の歯形間に遊びがなくなる場合を考へ、この時における噛合壓力角 α_{nc}' を算出する。これは二つの假想平歯車に共通な値であり、カッタと歯車との各はずば歯車の共通直歯ラック壓力角の近似値である。(21)は縮

小された新中心距離における噛合に於て、二つの假想平歯車の噛合刻み圓半径 R_{nc}' 、 R_{n1}' を求めたものである。(22)は假想平歯車の刻み圓の變化、 $\Delta R_c'$ 、 $\Delta R_1'$ である。(23)に於ては各はずば歯車の正面歯形の刻み圓半径が丁度先に考へた假想平歯車の刻み圓半

第 3 表

番 号	カッタ	歯 車
201	=(1) $Z_c = 83$	$Z = 22$
202		
203	=(142) $\sin \beta_{c1} = 0.92378298$	$\sin \beta_1 = 0.98548888$
204	=(140) $\tan \beta_{c1} = 2.4124925$	$\tan \beta_1 = 5.8058737$
205	=(147) $T_{nc1} = 0.14580281$	$T_{n1} = 0.16207496$
206	=(134) $\alpha_{nc} = 16.489812^\circ$	
207	=(136) $\cos \alpha_{nc} = 0.95887022$	
208		
209		
210	=(145)の平均値 $t_{n1} = 0.30787602$	
211	=(139) $R_{sc1} = 4.4825482$	$R_{s1} = 1.0938731$
212		
213		
214		
215	=(15) $g_c = 4.1725534$	$g = 10.476311$
216	$R_{nc} = \frac{R_{sc1}}{\sin \beta_{c1}} = 5.1589843$	$R_{n1} = \frac{R_{s1}}{\sin \beta_1} = 1.1263244$
217	$Z_{nc} = \frac{Z_c}{\sin \beta_{c1}} = 105.28542$	$Z_n = \frac{Z}{\sin \beta_1} = 22.986217$
218	$\text{inv } \alpha_{nc}' = \frac{T_{nc1} - t_{n1} + T_{n1}}{2 R_{nc1} (1 + Z_n/Z_{nc1})} + \text{inv } \alpha_{nc} = 0.00821871$	
219	$\alpha_{nc}' = 16.489902^\circ$	
220	$\cos \alpha_{nc}' = 0.95886978$	
221	$R_{nc}' = R_{nc} \frac{\cos \alpha_{nc}}{\cos \alpha_{nc}'} = 5.1589846$	$R_{n1}' = R_{n1} \frac{\cos \alpha_{nc}}{\cos \alpha_{nc}'} = 1.1263249$
222	$\Delta R_c' = R_{nc}' - R_{nc} = +0.0000023$	$\Delta R_1' = R_{n1}' - R_{n1} = +0.0000095$
223	$R_{sc}' = R_{sc1} + \Delta R_c' = 4.4825505$	$R_{s1}' = R_{s1} + \Delta R_1' = 1.0938736$
224	$\tan \beta_{c1}' = \tan \beta_{c1} \frac{R_{sc1}}{R_{sc}'} = 2.4124912$	$\tan \beta_1' = \tan \beta_1 \frac{R_{s1}}{R_{s1}'} = 5.8058710$
225	$\beta_{c1}' = 67.485538^\circ$	$\beta_1' = 80.227292^\circ$
226	$\sin \beta_{c1}' = 0.92378291$	$\sin \beta_1' = 0.98548886$
227	$X' = \beta_1' - \beta_{c1}' = 12.741754^\circ$	
228	$\cos \alpha_{sc}' = \frac{g_c}{R_{sc}'} = 0.95230104$	$\cos \alpha_s' = \frac{g}{R_{s1}'} = 0.95772592$
229	$\alpha_{sc}' = 17.767799^\circ$	$\alpha_s' = 16.719245^\circ$
230	$\tan \alpha_{sc}' = 0.32044504$	$\tan \alpha_s' = 0.30038053$
231	$\tan \alpha_{nc}' = \tan \alpha_{sc}' \sin \beta_{c1}' = 0.29602165$	$\tan \alpha_s' = \tan \alpha_{nc}' \sin \beta_1' = 0.29602167$
232	$\alpha_{nc}' = 16.489894^\circ$	$\alpha_s' = 16.489895^\circ$
233	$\cos \alpha_{nc}' = 0.95886982$	$\cos \alpha_s' = 0.95886981$
234	$\alpha' = (\alpha_{nc}' + \alpha_s')/2 = 16.4898945^\circ$	
235	$\tan \alpha' = 0.29602166$	
236	$\cos \alpha' = 0.95886981$	
237	$R_{nc}'' = R_{nc}' \frac{\cos \alpha_{nc}'}{\cos \alpha'} = 5.1589867$	$R_{n1}'' = R_{n1}' \frac{\cos \alpha_{nc}'}{\cos \alpha'} = 1.1263249$
238	$\Delta R_c'' = R_{nc}'' - R_{nc}' = -0.0000001$	$\Delta R_1'' = R_{n1}'' - R_{n1}' = 0.0000000$
239	$R_{sc}'' = R_{sc1} + \Delta R_c'' = 4.4825504$	$R_{s1}'' = R_{s1} + \Delta R_1'' = 1.0938736$
240	$\tan \beta_{c1}'' = \tan \beta_{c1}' \frac{R_{sc1}}{R_{sc}''} = 2.4124913$	$\tan \beta_1'' = \tan \beta_1' \frac{R_{s1}}{R_{s1}''} = 5.8058710$
241	$\beta_{c1}'' = 67.485539^\circ$	$\beta_1'' = 80.227292^\circ$
242	$\sin \beta_{c1}'' = 0.92378291$	$\sin \beta_1'' = 0.98548886$
243	$X'' = \beta_1'' - \beta_{c1}'' = 12.741753^\circ$	
244	$t_{sc}'' = \frac{2\pi R_{sc}''}{Z_c} = 0.33327791$	$t_s'' = \frac{2\pi R_{s1}''}{Z} = 0.31240957$
245	$t_{nc}'' = t_{sc}'' \sin \beta_{c1}'' = 0.30787616$	$t_n'' = t_s'' \sin \beta_1'' = 0.30787615$
246	$\tan \alpha_{sc}'' = \frac{\tan \alpha_{sc}'}{\sin \beta_{c1}''}$	$\tan \alpha_s'' = \frac{\tan \alpha_s'}{\sin \beta_1''}$
247	$\alpha_{sc}'' =$	$\alpha_s'' =$
248	$T_{sc}'' = 2 R_{sc}'' \left[\frac{T_{sc1}}{2 R_{sc1}} + \text{inv } \alpha_{sc}'' \right] - \text{inv } \alpha_{sc}''$	$T_s'' = 2 R_{s1}'' \left[\frac{T_{s1}}{2 R_{s1}} + \text{inv } \alpha_s'' \right] - \text{inv } \alpha_s''$
249	$T_{nc}'' = T_{sc}'' \sin \beta_{c1}''$	$T_n'' = T_s'' \sin \beta_1''$

徑の變化量と同一量だけ變化するものと近似的に看做して、新しい嚙合刻み圓半徑 R_{sc}' , R_s' を求めた。(24) はねぢ面の性質から明らかである。(25) には第 1 近似値としてのカット及び齒車の嚙合狀態進み角 β_c' , β_s' を求めた。(27) は軸角の第 1 近似値である。さて(23) に於て假定をなしてその後の計算を進めて來たのであるが、この結果が果してどの程度に正しいかを確かめるために(28) 以下の計算を行つてみる。若し實用上支障ない程度に正しいければ、(32) に於て求めた双方の假想平齒車の壓力角の第 2 近似値 α_{nc}'' と α_n'' とが實用上支障ない程度まで一致する筈である。この場合兩者を比較してみるに、その差は $\alpha_n'' - \alpha_{nc}'' = 0.017484^\circ \approx 1'$ である。角度差 $1'$ であれば略差支ないものであるが、こゝでは更に近似度を高めてみよう。

次には(34) に於て α_{nc}'' と α_n'' との平均値 α'' を求め、これを以て兩はすば齒車の共通直齒ラック壓力角の第 2 近似値とする。(37) に於ては假想平齒車齒形に於て壓力角が α'' となる如き位置の半徑 R_{nc}'' , R_n'' を算出する。これを假想平齒車の嚙合刻み圓半徑第 2 近似値と看做す。(22), (23) と同様にして(39) に正面齒形嚙合刻み圓半徑第 2 近似値を算出する。かくして得た第 2 近似値を用ひて、嚙合狀態進み角及び軸角を求めれば(41), (43) の如くなる。さてこれ等の第 2 近似値が果して實用上十分な近似度を有してゐるかどうかを調べてみる必要がある。その一方法として、正面齒形を前の儘に保ち、第 2 近似値を用ひて各假想平齒車の線刻み t_{nc}'' と t_n'' とを計算してみよう。これが(45) である。その差は $0.00001298'' = 0.33\mu$ であり實用上支障ない精度であるが、こゝでは更に近似度を高めることを試みる。そのためには、第 2 近似假想平齒車の弧齒厚を知つておく必要がある。これを求めるために(46) 以下の計算をなす。(49) が新しい弧齒厚である。

以上で第 1 次の近似計算を終つたので次には第 2 次の近似計算に移る。第 2 表がこの第 2 次の計算である。今回は、はすば齒車本來の性質であり嚙合狀態の如何に影響を受けない値、即ち(101) 齒數 Z_c , Z (115) 基礎圓半徑 g_c , g 及び齒面のリード、第 1 次計算で求めたはすば齒車嚙合狀態、第 2 近似値の進み角 β_{c1} , β_1 , 嚙合刻み圓半徑(111) R_{sc1} , R_{s1} , 假想平齒車の弧齒厚(105) T_{nc1} , T_{n1} , 假想平齒車の圓刻み(110) t_{n1} , 共通直齒ラック壓力角(106) α_{n1} なる狀態に於て、第 1 圖の嚙合を想像し、これより計算を進めてゆく。若し第 1 次計算の第 2 近似値の近似度が十分高ければカットと齒車との假想平齒車齒厚の和

($T_{nc1} + T_{n1}$) と圓刻み t_{n1} とが等しくなり、齒面には最早や遊びは存在しない筈である。さて數値を調べてみるに、 $t_{n1} - (T_{nc1} + T_{n1}) = +0.00013560'' = +3.44\mu$ となり、齒厚の和の方が圓刻みよりも小さく、齒面にはまだ遊びが残つてゐる。そこで(118) に於ては、更に兩者の中心距離を縮めて遊びがなくなる如くにし、この時の壓力角 α_{nc}' を算出する。

以下第 1 次同様の考へ方にて第 2 次計算を行ひ、續いて第 3 表に示す如く第 3 次計算まで行つてみた。

これ等の結果を纏めたものが第 4 表である。第 1, 第 2, 第 3 表では計算の便宜上、長さの單位としては吋、角度の單位として度を用ひたのであるが、第 4 表ではこれ等を mm 及び度分秒に換算した。第 4 表に於ては、第 1 次計算を、第 2 次計算を II , 第 3 次計算を III で表はし、各計算における第 1 近似値を A , 第 2 近似値を B にて表はす。第 4 表により III B の値を正しい値と看做して各計算値の近似度を調べてみれば次の如くなる。

共通直齒ラック壓力角 α_n , IB の誤差 $25''$, IIB の誤差は僅か $1''$ である。

カット及び齒車の嚙合刻み圓半徑 R_{sc} , R_s , IB の誤差 5μ 及び 3μ , IIB の誤差 0.05μ 及び 0.01μ 。

中心距離 $C = R_{sc} + R_s$, IB の誤差 5.78μ , IIB の誤差 0.06μ 。

軸角 $X = \beta - \beta_c$, IB の誤差 $2''$, IIB の誤差は秒以下。

第 5 表

番号	円 齒 車	齒 車
1	$\tan \beta_{gc} = \tan \beta_g \frac{R_{sc}}{g_c} = 2.5333283$	$\tan \beta_g = \tan \beta_g \frac{R_s}{g} = 0.0621425$
2	$\beta_{gc} = 68.459^\circ$	$\beta_g = 80.6329^\circ$
3	$\sin \beta_{gc} = 0.93015506$	$\sin \beta_g = 0.98666573$
4	$R_{gc} = 4.4650''$	$R_g = 1.1915''$
5	$S_c = \sqrt{R_{gc}^2 - g_c^2} = 1.536''$	$S_g = \sqrt{R_g^2 - g^2} = 0.568''$
6	$S_{dc} = \sqrt{R_{gc}^2 - g_c^2} = 1.343''$	$S_d = \sqrt{R_g^2 - g^2} = 0.315''$
7	$S_{sc} = S_c - S_{dc} = 0.193''$	$S_s = S_g - S_d = 0.253''$
8	$S_d = \frac{S_{dc}}{\sin \beta_{gc}} = 1.444''$	$S_d = \frac{S_d}{\sin \beta_g} = 0.319''$
9	$S_{sc} = \frac{S_{sc}}{\sin \beta_{gc}} = 0.207''$	$S_s = \frac{S_s}{\sin \beta_g} = 0.256''$
10	$S_g = \left\{ \frac{S_{sc}}{S_d} \text{ の小さい方の値} \right\} + \left\{ \frac{S_{sc}}{S_d} \text{ の大きい方の値} \right\} = 0.463''$	
11	$t_{n1} = 0.3079''$	
12	$t_{ng} = t_{n1} \cos \alpha_n = 0.295''$	
13	$n = \frac{S_g}{t_{ng}} = 1.569$	

第 6 表

T_{nc1} mm	α_n	X	β_c	β	ΔC mm	n
0.00	10°38'	12°24'	68°04'	80°28'	-7.143	1.85
1.00	14°13'	12°36'	67°45'	80°20'	-4.996	1.67
1.98	16°29'	12°45'	67°29'	80°14'	-3.273	1.57
3.00	18°15'	12°53'	67°15'	80°08'	-1.722	1.49
4.00	19°46'	13°00'	67°02'	80°02'	-0.226	1.43
5.00	21°02'	13°07'	66°50'	79°57'	+1.113	1.38

共通直歯ラックの線刻み t_{ng} 、 IB の誤差 0.12μ 、 IIB の誤差 0.01μ 。

この事から第1表に例示せる程度の轉位量に於ては實用上は IB の値で略々十分であり、 IIB の計算を行へば申分ないことが解る。特に軸角は、セービング仕上段取の際には分単位まで解つてゐればそれで十分であるから、 IA の値でも十分である。併しこれ等計算値の近似度は、カッタの轉位量その他の條件により變化するから、セービング仕上を新に計畫するには近似度が十分高くなる迄計算しておく必要がある。

B. 同時嚙合齒數の計算 はすば齒車の齒面たるインボリュートねぢ面の性質に就て考へる。第2圖は

第 2 圖

インボリュートねぢ面、基礎円嚙、切平面、共通直歯ラックの關係を示す。切平面とインボリュートねぢ面とは圖に示す如くに直交してをり、交線 AB 及び CD は t_{ng} なる距離を距て、切平面上に平行に並んでゐるのである。こゝに t_{ng} は共通直歯ラック齒面間の最短距離である。而してインボリュートねぢ面と共通直歯ラック齒面とはこの交線に於て接觸してゐる。従て切平面は共通直歯ラックの齒面に垂直である。

これだけの基礎觀念をもつて第3圖のねぢ齒車嚙合状態を考へよう。第3圖はカッタの齒面と齒車の齒面とが、ねぢ齒車として嚙合つてゐる状態を示すものである。但し圖中には混雜をさけるために、ねぢ面は省略してある。先づ齒車に就て考へてみよう。齒車の切平面 L 上のインボリュートねぢ面と切平面 L との交線は齒車の軸に垂直なる平面と切平面 L との交線に對して角 β_g だけ傾斜してゐる。角 β_g はインボリュートねぢ面の基礎円嚙上の進み角に等しい。而して共通直歯ラックの齒面とインボリュートねぢ面とは、切平面 L 上でこの傾斜線に於て接してゐるのである。次にカッタに就て考へてみるにカッタの切平面 M 上

にも上記と同様の意味をもつ傾斜線が考へられる。而してカッタのインボリュートねぢ面と共通直歯ラックの齒面とは切平面 M 上でこの傾斜線に於て接する筈である。

さて齒車とカッタとが嚙合ふためには、齒車とカッタとに就て考へた二つの共通直歯ラックが嚙合ふことが必要であり、お互の齒面が完全に一致すべきである。そこでカッタと齒車とに就て考へた傾斜線は同一平面 N 上に横たはる事になり、カッタと齒車とのインボリュートねぢ面は平面 N 上で上述せる傾斜線の交點に於て嚙合ふこととなる。そしてこの嚙合點はカッタと齒車とが同轉するにつれて切平面上を移動する。こ

第 3 圖

の嚙合點の移動した跡が作用線である。平面 N は共通直歯ラックの齒面に相當する。切平面 L と共通直歯ラック齒面 N とは垂直であり、同時に切平面 M と共通直歯ラック齒面 N ととも垂直である。また双方のインボリュートねぢ面と、共通直歯ラックとの嚙合は各々の切平面 L 及び M 上で行はれるのであるから、兩切平面の交截線が、この場合の作用線となる。それ故作用線は共通直歯ラック齒面に垂直となるのでありまた双方の切平面と共通直歯ラック齒面 N との

交線は共にこの作用線に垂直となる。そこで作用線
の方向が定まる。作用線はカット及び歯車の形状により
有効範囲が制限を受ける。作用線の有効範囲内で幾組
のインボリュートねち面が噛合ひ得るかを探せばこれ
が同時に噛合ふ歯の組数となるのである。第3圖にお
いて2重線となつてゐる部分が作用線の有効範囲であ
る。この場合は双方の外周で作用線の有効範囲が制限
されてゐる。切平面上における2重線の部分の軸方向
の長さが噛合に参加する歯車の幅となる。ねち歯車の
噛合点はこの作用線上を移動し兩ねち面は點接觸をな
すことは勿論である。この2重線の長さが、はすば歯
車の直角歯形法線刻み⁽³⁾、又は共通直歯ラックの法線
刻み t_{ng} の n 倍あるとすれば、この噛合における同
時噛合歯数が n といふことになる。

轉位ねち歯車の噛合状態は前項の計算によつて明ら
かになつてゐるのであるから、第5表の如くに計算し
て、同時噛合歯数 n を算出することが出来る。第5
表中 (4) はカット及び歯車の外半径であり、(5), (6),
(7) は、正面歯形に関する値である。これを作用線方
向の長さに換算したものが (8), (9) である。(8) の
 S_{ae}' はカットの噛合状態における刻み圓と基礎圓と
の間の距離を作用線の方に換算せる値であり、(9) の
 S_{ae}' はカットの噛合状態歯末丈を作用線の方に換算
せる値である。第3圖では作用線の有効範囲は双方の
歯末で制限を受けたけれ共、或場合には相手の歯末が
自身の基礎圓端よりも内にはいつてくることがある。
この時は噛合刻み圓から基礎圓迄の距離で制限を受け
ることになる。(10) の計算ではこの點を考慮して、噛
合範囲即ち2重線の長さを求めたものである。(11) t_{n1}
は共通直歯ラックの線刻みであり、(12) t_{ng} が共通直
歯ラックの法線刻みである。

ねち歯車の噛合は立體的であり考へにくいものでは
あるが、第3圖によれば、ねち歯車噛合における諸要素
を容易に想像することが出来、ねち歯車の設計、セー
ピングカットの設計、或はラック歯車の設計等も容易
に行ひ得るものと信ずる。

3. 轉位セーピングにおけるカット と歯車との噛合状態

第1表に例示せるセーピングカットと歯車との噛合
においてカットの歯厚を種々の値に選び⁽⁴⁾、この時の
カットと歯車との噛合状態を第1表により第1次近似
計算により求め、更にこの場合の同時噛合歯数を算出

(3) Normal Base Pitch. (4) カットの歯厚を變更
すれば、カットの轉位量が變り、轉位ねち歯車の轉位量が變化するこ
とになる。

して、これ等を表にして纏めたものが第6表である。
第6表に掲げた結果を圖示せるものが第4圖である。

第 4 圖

第4圖により、カットの標準刻み圓における直角歯形
歯厚 T_{nc} mm, 共通直歯ラック壓力角 α_n° , 軸角 X° ,
噛合中心距離の變化 ΔC mm, 同時噛合歯数 n の關
係を知ることが出来る。カットの壽命がなくなるまで
の再研削量を大きく見て歯厚にして 1 mm とすれば、
このための軸角變化量は $7' \sim 12'$ 程度である。從て
記入しておく必要がある。セーピング仕上の場合の仕
上代は、粗削り歯形の精度が良い場合に $0.03 \sim 0.05$
mm, 一般には $0.06 \sim 0.08$ mm 位である。假りにこ
の仕上代を大きく見積つて 0.1 mm とすれば、歯厚は
 0.2 mm 變化することになる。第4圖にはカットの歯
厚變化を與へてあるが、これを歯車の方の歯厚變化と
看做して、歯厚變化 0.2 mm に對する軸角變化を求
むれば $1' \sim 3'$ 位である。而してこの時の中心距離變
化 ΔC は $0.3 \sim 0.4$ mm 位になる。これがセーピ
ング仕上の際の送り量 (テーブルをカットに接近させる
量) に相當する。即ち仕上代 0.1 mm なる歯車を仕上
げるためには、中心距離を $0.3 \sim 0.4$ mm だけ近づけ
ることが必要であり、この時軸角が $1' \sim 3'$ 變化する
ことになる。仕上り後、正しい軸角で噛合ふ如くに段
取されてゐる譯であるから、仕上の途中、即ち中心距
離がまだ大きい間は軸角が $1' \sim 3'$ 狂つてゐること
になるが、この程度であれば實際には差支ない。尙第4
圖によれば、齒面を 0.1 mm 削り取るための送り量は
 $\Delta C = 0.3 \sim 0.4$ mm となつたのであるが實際には、粗
削り歯車の進み角誤差、齒形誤差等があり、切削開始

前には理論上求めた $4C$ よりも余計に離れた位置で噛合ふことになるから、 $4C$ よりも大なる送り量が必要になる。尙同時噛合歯数 n はカッタの歯厚が薄くなり、負轉位置が増すにつれて大となる。

これ等の數的關係は、カッタの轉位量その他カッタ及び齒車の性質により變化するものであるから、セービング仕上を行ふには豫め本例に示す如き計算を行つて第4圖に示す如き線圖を作製しておく必要がある。

4. セービングカッタの切削作用及び切力

第5圖はセービングカッタ切削作用の説明圖である。上圖は左ねぢれはすば齒車を切削する場合であり、下圖は平齒車を切削する場合である。これ等の圖は刻

第 5 圖

み點を通り、カッタ及び齒車の軸に平行なる平面を以てカッタと齒車の齒を切斷し、この斷面をカッタ側から見た圖である。カッタの齒の運動方向を v_c とすれば、齒車の齒の運動方向は v となり、齒面に v_s なる滑りが生ずる。カッタの切刃はカッタの齒面と齒面に入れた溝の壁面との交線である。カッタの齒面を齒車の齒面におしつけば、この切刃が齒車の齒面に喰込むことになり、滑り v_s にて引張れば、齒車の齒面が削り取られることになる。而してカッタの回轉方向を變更すれば反對側の齒面が削り取られることになる。カッタの齒と齒車の齒との關係は、カッタのねぢれ角の大きさ、ねぢれ方向により第5圖に示す如くに變化する。カッタ齒面には軸に垂直な平面に沿つて溝を入れ

てあるのでカッタの齒面と溝の側面とで構成される切刃には、削り角が鋭角となる側と鈍角となる側とがある。勿論、平齒車型カッタ⁽⁵⁾では削り角は兩側共 90° となる。切刃の何れの側で切削が行はれるものであるかは第5圖により容易に知ることが出来る。カッタ切刃の鈍角の削り角が作用するのは齒車とカッタの振れ方向が反對であり、而も齒車の振れ角よりもカッタの振れ角の方が小さい場合だけであり、他は總て鋭角の削り角が作用することになる。平齒車を仕上げる場合には常に鋭角の削り角が作用する。

軸角が大きくなるにつれて滑り v_s が大となることは第5圖により明らかである。軸角 X の實用範圍は $3^\circ \sim 30^\circ$ であるが $10^\circ \sim 15^\circ$ が最も好都合である。軸角が大となる程切味がよくなるが、その代りに案内作用が減じ、齒形や刻みが亂れてくる。軸角が小さくなれば案内作用は増すが切味は悪くなる。

カッタと齒車との噛合はねぢ齒車の噛合であり、ねぢ齒車の噛合は點接觸であるから、カッタと齒車とを一定位置で噛合せ、中心距離のみを接近させたのでは作用線附近のみが他の部分よりも余分に多く削り取られることになる。齒車の齒面を一様に削り取るためには、齒車を支持せるテーブルを齒車の軸の方向に移動させることが必要である。次にはこの移動方向に就て考へてみよう。第5圖の上側右方に示せる如く切屑がカッタの山の右側に出てゐる場合にはテーブルを左に向かつて移動させるべきである。テーブルが左端まで来れば、そこで一旦カッタの回轉及びテーブルの運動が止り、次にはカッタは逆方向に回轉させテーブルは右向に移動させる。このテーブル移動速度は約 100 mm/mn である。尙カッタの回轉數は毎分 $160 \sim 230$ 程度である。

5. セービング仕上法の用途

我が國に於ては現在齒車のセービング仕上法は自動車用齒車専用の如き觀がある。筆者は約1箇年前より自動車以外の齒車に對してもこの仕上法を應用し、カッタの設計、製作、齒車仕上共に略々豫期の成績を擧げる事が出来、これを実用化する事が出来た。セービング仕上では、焼入後の變形を取り除くことが出来ないで、この變形が非常に少いか又は常に一樣な變形を生ずることが必要條件である。一樣な變形が生ずるのであればセービング仕上の際豫めこの變形を見越して修正しておくことが可能である。又硬さロックウェル C 35 位迄の鋼材は切削可能であるから、この程度

(5) 切削される齒車がはすば齒車であれば平齒車型カッタを用ひても滑りが起るので切削作用が行はれる。

の調質鋼であれば調質後セービング仕上をなし得るので甚だ好都合である。

筆者の経験によれば、2.5~3.5 モジュール程度の大きさの歯形を有する歯車に於て次に示す程度の精度を得ることが出来る。次に示す精度は最高記録的なものではなく、相當の注意を拂へば普通の作業に於ても出し得る値である。

セービング仕上後熱処理を要せぬ場合 齒形誤差 $2\sim5\mu$ 、單一刻み誤差 $\pm 2\sim5\mu$ 、累積刻み誤差 $10\sim15\mu$ 、はすば齒車 振れ角誤差 又は 平齒車齒の平行度 $\pm 1'$ 。

セービング仕上後焼入又は滲炭焼入をなしたる場合 齒形誤差 $3\sim10\mu$ 、單一刻み誤差 $\pm 5\sim13\mu$ 、累積刻み誤差 $15\sim25\mu$ 、はすば齒車 振れ角誤差 又は 平齒車齒の平行度 $\pm 2'\sim 4'$ 。

セービング仕上後熱処理を要せぬポンプ齒車に於ては、特に良結果を得てをり、齒面はセービング仕上の儘で十分であり而も完全に互換性のある齒車を得てゐる。又セービング仕上後焼入する齒車では焼入後齒面をバフ磨きすれば實用上十分な齒面を得ることが出来る。更にセービング仕上後滲炭及び焼入を行ふ齒車に於ても肌が荒れぬやうに注意すれば、サンドブラストやラップ仕上の必要はなく、バフ磨きのみでよい場合がある。ラップ仕上は數分間程度であればよいが、數十分間もラップする場合は餘程注意しないと反つて齒形を亂し齒筋の傾きが狂ふ恐れがある。

セービングカッタはその壽命が非常に長く、1回段取をなしておけば、カッタ取替の必要なしに、數千箇の齒車を仕上げる事が出来、その製品間の齒厚のむらも $0.02\sim 0.03\text{ mm}$ 程度であり、前記の精度を有してをり、優秀な技術者が段取の世話をしてやれば、そ

の後の生産には熟練者の必要がないのである。これ等の點を考慮する時、齒車のセービング仕上法は單に自動車用齒車のみならず、航空機その他の精密齒車多量生産にも必ず廣く用ひられるやうになつてくるものと思はれる。

併し乍ら前述せる如き精度を確保するためにはカッタの設計製作、ライブセンタ、齒車心棒の設計製作、齒車の粗削り等に相當な技術を要し、且段取にも慎重な注意を怠つてはならぬことは勿論であるが、これ等の詳細はこゝには割愛する。

6. 結 論

セービング仕上は轉位狀態で行はれるのが普通である。この轉位セービング仕上を明らかにするには轉位ねち齒車の嚙合狀態を研究することが必要である。本論文には先づ轉位ねち齒車嚙合狀態の實用的な計算法を明らかにし、續いて轉位セービング仕上に就て考究した。

本論文に従へば、セービングカッタの設計並にセービング仕上作業段取に必要な計算を容易に行ひ得る筈である。又本論文に取扱つた轉位ねち齒車の問題は、ラップ齒車と齒車材とに或軸角を與へる型の齒車ラップ仕上の際に應用し得ることは勿論である。

今後セービング仕上法は益々廣く採用されるやうになるものと信するのであるが、本論文がセービング仕上作業發展の一助ともなれば筆者の喜びこれに過るものはない。

最後に本研究に關し御指導を賜はつた、和栗明博士に對し厚く御禮を申上げる。尙面倒な數値計算を手傳はれた村越正春氏、吉村志郎氏に對し深く感謝する。

(昭和 19 年 7 月 26 日 受付)

鐵道車輛動搖が軌條に及す影響⁽¹⁾

(昭和 19 年 6 月 28 日 469 回講演會に於て講演)

正 員 根 岸 政 道⁽²⁾

本論文は日本機械學會誌第 47 卷第 330 號 (昭 19-10, 11, 12) 433 頁掲載の論文要報を以てこれに代へる。

(1) Effect of Vibration of Railway vehicles on Wear of Rails
Technical Research Institute, Transport and Communication Department, Tōkyō. 運輸通信省鐵道技術研究所

(2) Masamichi NEGISHI Member, The Railway