大径ねじのタッピングに関する研究 (第2報)*

——タッピングねじの山やせ現象——

小 村 明 夫** 山 本 昌 彦*** 井 川 直 哉†

Study of Tapping Method for Large Size Threads (2nd Report)
—Consideration for the Oversized Effective Diameter by Tapping—

Akio KOMURA, Masahiko YAMAMOTO and Naoya IKAWA

In this paper we discuss the cause of an oversized effective diameter by tapping for a large size threads and investigate the prevention method for it. We carried out the simulation using the imitated cutting edges and turning test and the tapping using M 42×4.5 tap. The results are as follows. (1) Axial oversize thread can be caused on a following flank when the direction of the over thrust is same as the direction of tapping. When it is reversed, the over thrust can be caused on a leading flank. (2) Where axial force is constant, the effective diameter at the inlet of the thread is larger than at the bottom (Bell-Mouth phenomina) because the thrust force acting on a unit length of cutting edge can reduce exponentially according to the increase of cutting edge. (3) In order to prevent producing oversize threads, it is necessary to develop a new tapping attachment controlling the axial thrust on the initial tapping and the reverse rotating.

Key words: large size tapping, oversized effective diameter

1. 緒 言

内径ねじの機械タップ作業においては、めねじフランク面の山やせ現象によってベルマウス現象¹⁾が生じ、ねじ有効径の拡大することが報告されている。

この現象はねじ外径φ50クラスの大径ねじにおいても生じることが著者ら²⁾によって確認されており、JIS 1級相当の有効径公差を必要とする大形高付加価値製品でのタップ作業では、有効径の拡大原因の究明とその解決策の早期確立が要望されている。

ねじ山の有効径公差は被削材種、タップ下穴径、タップ工具形状、切削速度、切削油剤等タップ加工条件に関するすべての項目と因果関係のあることが山本¹⁾、宇尾³⁾らによって明らかにされ、タップ作業推力に影響されることもDoyleら⁴⁾によって述べられているが、大径タップを対象とした基礎的な研究は行われていない。

そこで、本研究では第1報⁵⁾の食付き推力の解明に続いて、山やせ現象の原因とその防止策を究明するためタップ模擬切れ刃と旋削によるシミュレーション実

験及びM 42×4.5タップを使用したタッピング実験によって山やせ現象の解明を行った。

2. 大径タップ作業の現状

2.1 機械タップねじの精度

図1は大径タップ作業におけるフランク面山やせ現象の一例で、進み側フランク面にその現象が生じている。JIS B 4430 (解説) より、JIS 1級ねじの有効径寸法許容差はピッチ $P=5.6$ において約0.016 mmであるが、本測定例では有効径誤差0.03~0.02 mmであり、JIS 2~3級ねじとなっている。また、ねじ有効径の拡大がタップ入口部第1山で最大となり、第2山以降逐次減少するベルマウス現象が生じている。

図2は山やせ形状とタップ各切れ刃の相対位置の関

Fig. 1 Profile of internal thread machined by a tap

* 原稿受付 平成元年8月23日、昭和63年度精密工学会秋季大会学術講演会(昭和63年10月3日)にて発表

** 正 会 員 日立造船(株)(大阪市此花区桜島1-3-22)

*** 正 会 員 近畿大学理工学部(東大阪市小若江3-4-1)

† 正 会 員 大阪大学工学部(吹田市山田丘2-1)

Fig. 2 The relation between the shapes of over cut screw thread and the phase of cutting edges

Fig. 3 Mechanical action of a tapping attachment

係を表したものである。図2(a)は追い側フランク面に、図2(b)は進み側フランク面に山やせ現象が生じている。使用タップは先タップ、中タップの2本組であるが、図中の切れ刃は第1工程の先タップを対象として、作用切れ刃位置と理想切れ刃位置の相対誤差量 ΔZ を表したものである。この結果、 ΔZ は作用切れ刃の少ないタップ入口部で $0.13 \sim 0.33P$ の大きな値を示しているが、作用切れ刃の増加と共に逐次減少している。

2.2 タッピングアタッチメントと作用推力

タップ作業では被加工物の形状や使用機械の種類によって、アキシャルフローティング、トルクコントロール、ねじ深さ自動定寸等の各機能を単独または組み合わせて構成されたアタッチメントが用いられているが、食付き推力の与え方は手動操作機とNC機では異なる場合がある。図3は自動定寸機能によるNC

マシンでのアキシャルフローティング部の機能説明図である。図3(a)は早送りでの自由状態、図3(b)はピッチ送りでの食付き状態、図3(c)はタップ自己推進および戻り送り状態である。図3(a)の状態ではタップ切れ刃に推力が作用しないが、図3(b)ではタップ進行方向に式(1)の正方向推力TFが作用し、図3(c)では式(2)の負方向推力TBが作用する。

$$TF = W_1 + K_1 \cdot Z_1 \quad (1)$$

$$TB = -W_2 - K_2 \cdot Z_2 \quad (2)$$

ここに、TF, TB: 作用推力(N), W_1, W_2 : ばね設定推力(N), K_1, K_2 : ばね定数(N/mm), Z_1, Z_2 : ばね作用長さ(mm)。

この作用推力は対象タップ径によって数段階に設定されているが、市販の大径タッピングアタッチメントではメーカーによって大幅に異なっており、最大設定力は $TF=300 \sim 800$ N, $TB=-200 \sim -500$ N になっている。また、現業部門での大形ラジアルボール盤を使用した手動作業では、作業者の経験によって種々の作用推力パターンで加工されているのが現状のようである。

3. 山やせ機構

山やせ現象はタップ各切れ刃がタップ自身のリード角どおりに切削しないために生じる現象で、タップに作用する軸推力が大きく影響していると想定されるため、本研究では軸方向力と山やせ現象の関係について究明した。

3.1 山やせ挙動の種類

図4(a)はタップの切削断面モデルである。図4(b)は切れ刃切削部の $z-\theta$ 座標系展開図であり、便宜上切れ刃形状を矩形とした。タップ切削機構では、軸作用推力の方向及び作用回転方向の組合せによって、切れ刃フランク面での切削状態は次の8種類に分類できる。

- (1) タップ切れ刃はタップリード角 β に沿って切削しており、正転時の理想切削状態である。
- (2) 正転である進み側フランク(以後L. F)切れ刃において、過剰正推力TFによってリード角 $\beta_1 (>\beta)$ で切削される状態。
- (3) 正推力で食付き後、過剰逆推力TBによってリード角 $\beta_2 (<\beta)$ で切削される状態。
- (4) 正回転時の追い側フランク(以後F. F)切れ刃において、過剰推力によってリード角 β_1 で切削中の切れ刃が途中より適正推力になり、リード角 β に向かって補正切削される状態。
- (5) タップ逆転時において切れ刃はタップリード

Fig. 4 Classification of cutting phenomena at tapping

角 β に沿っており、逆転時の理想状態である。

- (6) 正回転時に過剰正推力によってリード角 β_1 で切削されたねじ山において、逆転時にも過剰正推力を受けリード角 β_2 で切削される L. F 切れ刃での状態。
- (7) 正回転時にリード角 β で切削されたタップ溝において、逆転時に過剰逆推力を受けた F. F 切れ刃がリード角 β_1 で切削される状態。
- (8) 正回転時に過剰推力によってリード角 β_1 で切削されたねじ山において、逆転時に過剰逆推力を受け、パニシ状態で切削される F. F 切れ刃での状態。

3.2 過剰軸推力と山やせ量

軸方向の山やせ機構を定量的に解明するには図 (b) の (1), (5) 項を除いた 6 種類の山やせ切削動と軸推力の関係を知る必要がある。軸推力はタップ切れ刃のフランク面接触長さ及び接触面積軸方向切削抵抗より求めることができる。

表 1 はタップ 1 切れ刃当たりの切削厚さとフランク面接触長さの関係を表したものである。進みフランク面の接触長さ B_L 及び追い側での接触長さ B_F は式 (3)~(5) で表すことができる。

$$\overline{ab} = P/N \quad (3)$$

$$B_F = \overline{ab} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\delta + \theta)} \quad (4)$$

$$B_L = \overline{ab} \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\delta - \theta)} \quad (5)$$

ここに、 P : タップのピッチ (mm), N : タップの溝数, θ : タップの食付き角 ($^\circ$), δ : ねじ山の底辺角 ($^\circ$).

食付き角 $\theta = 4^\circ, 7.5^\circ, 24^\circ$, タップ溝数 $N = 4$, $\delta = 60^\circ$ における $P = 1 \sim 6$ mm のタップ切れ刃では $B_F(\min) = 0.019$ mm, $B_L(\max) = 1.038$ mm となる。

軸方向切削抵抗の測定は、切れ刃外周部での軸方向切削抵抗が非常に小さい⁵⁾ ため、切れ刃外周部の切削抵抗を無視し、フランク切れ刃部のみを対象とした。またフランク切れ刃形状は食付き角 θ によって、L. F 及び F. F 切れ刃部で種々変化するが、山やせ挙動時の概略抵抗値を知るため、図 5 のような 3 種類の模擬切れ刃 (材種 SKH 10 相当) を用いた。

各切れ刃の刃先形状は (a) 過剰切削型切れ刃 (0, 0, 1, 0, 1, 0, 0 mm), (b) 正常切削型切れ刃 (5, 6, 2, 5, 1, 30, 0 mm), (c) パニシ型切れ刃 (0, -86, 4, 0, 2, 0, 0 mm) である。図 5 (a) は前述の山やせ切削挙動 6 種類の (2), (3), (7) 項用であり、図 5 (b) は (4), (6) 項, 図 5 (c) は (8) 項用の切れ刃である。

各切れ刃の切削抵抗の測定は、被削材として被削性の良い黄銅 (BsBM₂, 硬さ HB=94, $\phi 42 \sim \phi 38$) を対象にし、切削形態は実験の簡便さを意識して、実際のタップでの内周切削と異なり、NC 旋盤 (大隈 LS-N) を利用した外周旋削を行った。

軸推力成分 W_2 の測定は市販のひずみゲージ式切削

Table 1 The relation between the thickness of chip and the cutting length of flank edges

P	0.01 mm					
	$\theta = 4^\circ$		$\theta = 7.5^\circ$		$\theta = 24^\circ$	
	B_F	B_L	B_F	B_L	B_F	B_L
1	1.9	2.1	3.5	4.1	10.2	17.3
2	3.9	4.2	7.1	8.2	20.4	34.6
3	5.8	6.3	10.6	12.3	30.7	51.9
4	7.8	8.4	14.1	16.5	40.9	69.2
4.5	8.7	9.5	15.9	18.5	46.0	77.9
5	9.7	10.5	17.7	20.6	51.1	86.5
6	11.6	12.6	21.2	24.7	61.3	103.8

Fig. 5 Illustration of the imitated cutting edges

Fig. 6 Axial cutting resistance on flank edges
 d : depth of cut, BsBM 2 ($\phi 38\text{--}\phi 42$), $N=5\text{ rpm}$

動力計 (佐藤マシナリー, ATS-TTLS, TTK) を使用し, 切削条件は切込み $d=0.1\sim 1.0\text{ mm}$, 送り $f=0.01\sim 0.1\text{ mm/rev}$ である。

図 6 は (a) 過剰推力型, (b) 正常切削型, (c) パニシ型の実験結果である。切込み d は等価的にフランク面接触長さ B_L 及び B_F に相当し, 送り f は拡大代 ΔZ , すなわち山やせ量に相当する。(a) の $d \leq 0.2\text{ mm}$ においては, 1 切れ刃当たり 50 N の軸推力で拡大代が $\Delta Z \approx 0.1\text{ mm}$ になることが判明した。また, 同一送り条件では d にはほぼ比例した切削抵抗を示し, $d=1.0\text{ mm}$, $f=0.1\text{ mm/rev}$ の切削条件で $W_2=170\text{ N}$ である。さらに (b), (c) の切削状態においても $W_2 \leq 70\text{ N}$ である。

これらの実験結果よりタップ 1 切削厚さの過剰推力とねじ山拡大代の関係は, 式 (4), (5) のフランク面接触長ささと図 6 の切削抵抗より求めることができ, 図 3 (b) の諸挙動が比較的小さな推力で生じることが判明した。

3.3 タッピングねじの山やせ機構

図 7 は 4 溝のタップ切れ刃の切削挙動と進み側フランク切れ刃の接触面長さを説明したものである。食付き初期には切れ刃 ①～③ の外周切れ刃部で切削を行うが, 食付き長さ $Z=Z_1$ で切れ刃 ⑤ の進み側フランク切れ刃が切削厚さ B_L で切削し, $Z=Z_2$ では切れ刃 ⑥ の $2 \cdot B_L$, さらに $Z=Z_3$ では切れ刃 ⑦ の $3 \cdot B_L$ が加わり, 総合切れ刃接触面長さ S は $6 \cdot B_L$ となる。このように切削切れ刃数の増加と共に総合切れ刃接触面長さ S は等差数列的に長くなり, 作用切れ刃数 n の場合式 (6) で表すことができる。したがって,

$$S = n(n+1) \cdot \frac{B_L}{2} \quad (\text{mm}) \quad (6)$$

Fig. 7 The cutting length of leading flank edges

Fig. 8 Cutting mechanism of the oversized effective diameter by tapping

$$w = \frac{TF}{S} \quad (\text{N/mm}) \quad (7)$$

タップ作業を一定推力 TF で行った場合, 単位 B_L に作用する推力 w は式 (7) で表すことができ, $n=1$ で $w=TF$, $n=2$ で $w=TF/3$, $n=3$ で $w=TF/6$ となり, n の増加に伴って w は逐次減少する。この現象は定過剰推力でのタップ作業においては, 初期切れ刃は過剰リード角で切削を行うが, 各切れ刃の進行と共に過剰リード角が逐次減少することを表している。

図 8 はタップに過剰推力が作用した場合のねじの山やせ機構モデルである。モデルは食付き角 $\theta=24^\circ$, 溝数 $N=4$ のタップであり, タップ回転角 $R.A=0\sim 450^\circ$ である。a～f 点は適正推力によって真のリー

Fig. 9 Measuring model of the oversized effective diameter by tapping

ド角 β でタップが進行した場合、最初の食付き刃LN=3が下穴と接触する点である。図8(a)は過剰推力によってa点が β よりも大きなリード角 β_1 でb'点に進み、c'~e'点に向かっては切れ刃の軸方向切削抵抗の増加によってリード角が逐次 β に近づき、f'点でリード角 β と平行に進んだ場合の切削状態を示したものであり、追い側フランク面に山やせ現象が生じている。

また図8(b)は過剰推力によってa点がc'点までは β よりも大きなリード角 β_1 で進行し、c'点で推力を減少させた場合であり、d'点へはリード角 β_2 で進み、漸近的に β に復元する場合の切削状態を示し、追い側フランク面の食付き初期部と進み側フランク面に山やせ現象が生じている。

図8のモデルは図4(b)の2,4項の状態であるが、作用推力パターンによって種々の山やせ状態が想定できる。

4. 山やせ実験

タッピングねじの山やせ現象を観察するため、その現象が容易に観察できるBsBM₂材とM42×4.5($\theta=7.5^\circ$)タップを用いて山やせ実験を行った。図9は山やせ実験装置のモデルである。図9では、旋盤刃物台上にストロークボールベアリングを装着し、ベアリング内輪部にタップを挿入してある。タップ柄端部は圧縮コイルばねを介して切削動力計（佐藤マシンリー、AST-TTSL）に接続され、ばね座部品の組合せによって荷重方向を変化できるようになっている。また、トルク成分はタップ柄端部にトルクストッパを取り付け、カムフォロアを介してベアリング受外筒部のひずみゲージで測定できるようになっている。

図10は山やせ実験のねじ山断面を形状測定器（東京精密、サーフコム600A）で測定した一例である。

(a) Following flank ($W_2=800N$) (b) Leading flank ($W_2=-400N$)

Fig. 10 Incorrect slope of the thread groove flanks

Table 2 The relation between thrust directions and an error of effective diameter Δd_m

	W_2 N	Δd_m (0.01 mm)			
		Thread No.			
		1	2	3	4
A	0	8.0	8.0	8.0	8.0
B	+400	8.5	8.0	8.5	8.5
C	+400 (C) -400 (A)	13.0	11.5	10.5	10.0
D	+800	9.0	9.0	9.0	9.0
E	+400 (C) -600 (A)	22.0	20.0	15.0	14.4
F	-400	9.5	9.5	9.5	9.5

(C) : Clockwise rotation

(A) : Anticlockwise rotation

図10(a)はタップ進行方向に正の定過剰推力 $W_2=800N$ を作用させた場合のねじ山入口部の形状であり、図10(b)はタップ食付き直後より負の定過剰推力 $W_2=-400N$ を作用させた場合のねじ山入口部の形状である。この結果、追い側及び進み側フランク面に山やせ現象が生じており、図8の山やせ機構モデルと同様な挙動を示している。

表2はめねじ測定器（スイス、ライスアワー社製）を使用した過剰推力の作用パターンとねじ山有効径誤差 Δd_m の実験結果である。A~Fまで5種類の測定例では $\Delta d_m=0.08\sim0.22mm$ となり、JIS B 4430解説では1~2級ねじとなる。しかしこの測定値は有効径付近の値であり、めねじ山頂部のフランク面では、図1, 2, 10のように有効径付近よりも大きな山やせ現象が生じる。またC, Eでは有効径のベルマウス現象が生じている。

図11は図9の実験装置を用いて、タッピングの作用推力とトルク線図の関係を求めた一例である。過剰推力 $W_2=400N$ でのトルク曲線は、 $W_2=80N$ でのトルク曲線よりも大きな値を示し、しかも大きな変動値をもっている。これは、進み側フランク面と外周切れ刃面において、正常タッピング時に比べて過剰切削しているためである。

Fig. 11 Dynamometer traces of thrust force and torque on tapping

5. 結 論

以上の解析及び実験結果をとりまとめると次のとおりである。

- (1) 山やせは、タップの回転方向と推力の方向及びパターンによって6種類の挙動が生じる。
- (2) 山やせは、過剰推力の方向がタップの進行方向と同じ場合は追い側フランク面に発生し、逆方

向の場合は進み側フランク面に発生する。

- (3) 推力が一定の場合、切れ刃単位長さ当たりに働く推力はタップ切れ刃の増加に伴い逐次減少するため、ねじ山の拡大は入口部ほど大きくなり、ベルマウス現象が生じる。
- (4) 過剰推力でのタッピングトルクは正常時よりも大きな変動値を示し、切れ刃フランク部の損耗を早めるものと考えられる。
- (5) 山やせを防止するには、食付き時の軸推力をコントロールできる新しいアタッチメントを開発する必要がある。

以上の研究遂行にあたり、種々御教示いただいた京都大学奥島啓式名誉教授に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 山本 肇：タッピングにおける拡大しろ，機械技術，17，3 (1969) 44.
- 2) 小村明夫ほか：大径ねじのタッピング法に関する研究，日立造船技報，40，4 (1979).
- 3) 宇尾平二：タップの拡大しろについて，不二越技報，13，1 (1957) 44.
- 4) E. D. Doyle & S. K. Dean：Effect of Axial Forces on Dimensional Accuracy during Tapping, Int. J. Mach. Tool Des. Res., 14, (1974) 325.
- 5) 小村明夫ほか：大径ねじのタッピングに関する研究 (第1報)，精密工学会誌，55，7 (1989) 1313.