

STS304의 태핑과 탭 형상에 관한 연구

이정길*, 최만성**

A Study on Tapping for STS304 and Tap Geometry

Jung Kil Lee*, Man Sung Choi**

ABSTRACT

The poor machinability material such as austenite stainless steel(STS304) is emphasized on the wide use of HSSE for the tapping operation. The difficulty can be entirely attributed to tapping torque due to chip formation through the hole of tap. The object of this study is to investigate tap geometry affecting the tapping torque from a practical point of view. The study shows that the optimal tapping torque is affected by the tap geometry and cutting condition for STS304.

Key Words : Poor machinability(난삭성), Tapping torque(태핑토크), Tap geometry(탭 형상), Chip formation(칩 형성)

1. 서론

최근 기계의 고속자동화가 급속하게 진행되고, 피삭재의 고경도화 경향으로 인해 장 수명의 절삭 공구가 요구되고 있다. 탭에 있어서도 다양한 종류의 상품개발이 진전되어 피삭재의 절삭특성에 따른 전용 탭이 사용되고 있으며, 공구재종에서도 고속도강 분말 야금법의 발달로 새로운 공구재종이 개발되어 태핑작업에 큰 변화를 가져오고 있다. 피삭 압나사의 정도는 공구재종에 의한 영향도 있지만 탭 형상에 따른 영향이 더 크다. 태핑에 영향을 주는 인자들로는 경사각, 나사여유, 불안전나사부의 탭 형상에 관한 것과 공구재종, 피삭재, 칩 형상 그리고 절삭조건 등이다. 탭 형상과 절삭속도에 의한 영향에 대해서 발표된 연구는 대다수가 기하학적 형상모델로 통계해석 결과만을 다루고 있으며, 실험적 자료로는 칩 형상에 관한 것이 대부분이

다.^(1,2,3) 이와 같이 경사각, 나사여유, 절삭속도, 칩 형상 등의 인자에 대한 개별적인 해석으로는 복합적인 절삭특성을 규명하기에는 부족하다. 따라서, 본 연구는 STS304의 태핑실험을 통해 탭 형상과 조건에 따른 절삭성의 정량적 해석을 위해, 난삭재의 절삭특성과 탭 절삭기구의 이론적 해석에 의해 전용 탭을 설계 및 제작하고 절삭조건에 따른 태핑 토크의 변화특성과 피삭 압나사의 정도 및 칩 형상 등을 분석함으로써, 절삭성능이 좋은 탭 형상을 선정하고 스테인리스 전용 탭 개발의 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

2. 태핑의 절삭기구 해석

2.1 절삭력

태핑작업시 공구절인에 작용하는 힘의 성분은 Fig. 1과 같이 접선력 F_x , 반경력 F_y , 축추력 F_z 로

* 한국기술교육대학교 생산기계공학과

** 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

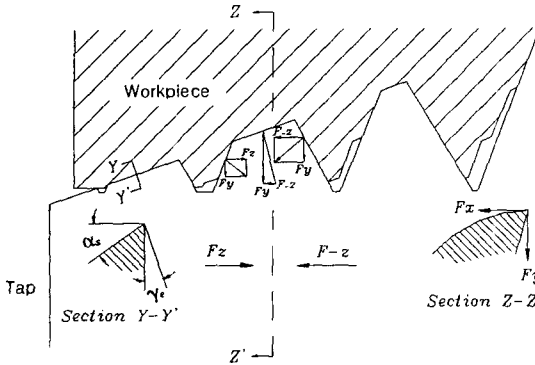


Fig. 1 Force exerted during tapping

나타난다. 접선력 F_x 는 원주접선방향에 걸리는 저항력으로 태핑토크(tapping torque)를 결정해주는 주요성분이다. 반경력 F_y 의 합성 값이 0(zero)이 아니라면, 탭 축과 구멍 축이 일치하지 않으므로 인해 태핑토크의 증가, 탭 구멍의 커지는 유효지름의 변화를 가져오며 탭 수명이 짧아지고 결국 탭이 결손되는 결과를 가져온다. 축추력 F_z 는 불완전나사부의 나사산에 작용하는 저항력이 대부분을 차지하며, 초기 절입은 좁은 공간상에서 불완전나사부에 큰 저항력이 작용하여 플랭크 마모가 발생하기 쉽다. 또한 불완전나사부의 탭 나사면이 피삭재와의 접촉이 부정확하여 축추력의 불균형($F_z < F-z$)에 의해 탭 결손이 발생하기 쉬운데, 본 연구에서 사용하려는 스파이럴 강 비틀림의 경우에 그 정도가 심하다. 이러한 문제의 해결방안으로는 불완전나사부의 특수설계나 자동 이송리드기구에 의한 탭 제어가 요구된다.

2.2 태핑토크

태핑토크는 이론적으로 탭이 나사내기 구멍에 절입하여 불완전나사부까지 토크 값이 상당히 증대하고 나사절인의 전부가 절삭하기 시작하면 거의 일정치를 나타낸다. 사실상 완전 나사부는 절삭을 하지 않고, 이미 완성된 피삭 암나사와 맞물려 탭 자신을 안내하는 자진작용(perform of self-guiding)의 역할을 한다. 태핑토크를 이론적으로 산출하기 위한 절삭 모델링은 Fig. 2이며, 임의의 나사절인의 면적을 A_i , 탭 중심축으로부터 나사절인까지의 거리를 r_i , 비절삭저항을 K_i 라고 하면 다음 식이 구해진다.

$$T_i = K_i \cdot r_i \cdot A_i \quad (1)$$

식(1)으로부터 탭이 나사내기 구멍에 절입할 때 임의의 위치에 있어서 태핑토크의 일반식은 다음과 같다.

$$T = \iint K_{(r)} \cdot (r + X \sin \delta) \cdot \cos \delta \cdot dx \cdot dr \quad (2)$$

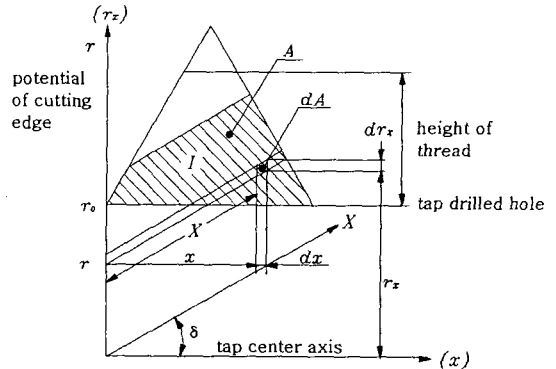


Fig. 2 Tap geometry for predicting tapping torque

2.3 탭 형상

난삭재를 태핑하든가 탭의 직경이 커지면 탭과 피삭 암나사와의 마찰저항이 상승하고, 탭의 용착, 피삭 암나사의 가공면 조도 불량 등의 현상이 야기된다. 이 때문에 탭에는 나사 부분의 절입에서부터 절입 뒷면에 걸쳐 미소한 1차여유를 갖는 나사여유(thread relief)를 준다. 나사산부의 여유는 완전나사산부의 여유량이며, 피삭 암나사 면과의 마찰을 줄이는 기능을 가지고 있다. 나사여유 TR은 경사각 α 의 랜드 폭 길이 L [mm]에 대한 여유량 R [mm]로 주어지는데, 랜드의 중심각 θ 에 의해 결정된다.

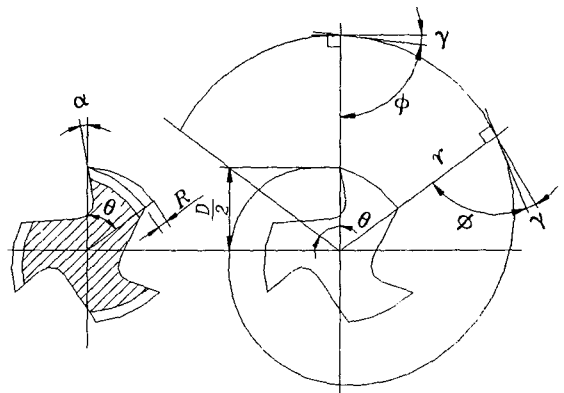


Fig. 3 Thread relief and geometric model

Fig. 3에서 극형식의 등각사상(conformal mapping)에 의해 다음과 같이 이론적으로 자연대수 r 를 나선여유각 γ 에 대해 전개하면,

$$r = \frac{D}{2} \cdot e^{-\theta \cot \alpha} = \frac{D}{2} \cdot e^{-\theta \tan \gamma} \quad (3)$$

여기서, $\theta + \gamma = 90^\circ$ 이므로

$$\tan \gamma = \text{constant} \quad (4)$$

하다.

3. 실험조건 및 방법

태핑의 절삭기구해석에서 불완전나사부의 절삭면적에 대한 기하학적 모델로부터 탭 형상에 따른 태핑토크의 변화예측이 가능하였다. Table 1은 본 실험을 위해 제작한 탭의 사양이다.

Table 1 Specification of testing performance tap

List	Specification
Using	Stainless simple purpose
Shape type	Spiral flute tap
Cutting type	Blind hole tapping
Tool materials	HSSE
Chemical composition[%]	C:1.2/Cr:4/Mo:5/W:6/V:3
Standard	M14×2.0
Class[maker standard]	TH3
Helix angle ν [°]	43/ Right helix
Flute number	3
Effective diameter[mm]	Ø12.741 ~ Ø12.761
Interference ratio[%]	92.38
Chamfer angle δ [°]	13
Rake angle type	rake
Rake angle α [°]	6/8/12
Relief angle type	eccentric
Thread relief TR(R/L)	0.08/0.11/0.14

경사각 α 를 6° , 8° , 12° 로 하고, 나선여유 TR을 0.08/land, 0.11/land, 0.14/land로 하여 불완전나사부의 형상이 각기 다른 9종류의 시험용 탭을 사용한다. 그리고 절삭속도 V 는 5m/min, 6m/min, 7m/min, 9m/min, 10m/min, 12m/min의 조건으로 한다.

실험장치의 구성은 공작기계, 탭 부착장치, 절삭력 측정시스템으로 되어있다. 그 상세한 내용은 Table 2와 같으며, Fig. 4는 절삭력 측정시스템의 개략도이다.

Table 2 Constitution of experiment on tapping test

List	Name	Model name & Type
Machine tools	Machining center	TNV-80A
	NC controller	FANUC-0M series
Tap attachment	Milling chuck	MD50-CTR32-105
	Tapping holder	ST32-KTN12-135
	Tap adapter	TCA1-M14
Cutting force measuring system	Rotating cutting force dynamometer	9123B Piezo-electric accelerometer sensor
	Multichannel conditioner	5223A 4-axes(Fx,Fy,Fz,Mz)
	A/D adapter panel	DT752 31 channel
	DAQ board	DT3831-G
	DAQ software	GLOBAL LAB Data Acquisition 3.0
	PC system	Intel 80486 (60MHz)

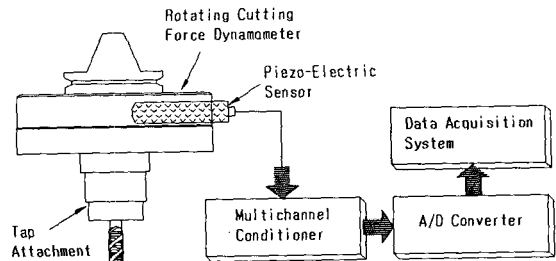


Fig. 4 Schematic diagram of experiment

4. 실험결과 및 고찰

4.1 탭 형상에 따른 태핑토크

태핑토크는 STS304와 같은 난삭재의 경우에 탭의 불완전나사부 형상에 따라 변화가 크므로 탭 선정에 있어 경험적 지식이 매우 중요하다. 탭 형상을 결정해주는 중요한 요소인 경사각과 나선여유의 변화에 따른 태핑토크와의 관계에 대해서 실험결과를 통해 분석해 본다.

4.1.1 경사각(α : rake angle)

경사각을 6° , 8° , 12° 로 변화를 주어 실험한 결과를 Fig. 5(a)~Fig. 5(d)에 나타내었다. Fig. 5(a)는 나선여유가 0.08일 때 절삭속도에 따른 경사각과 태핑토크의 관계를 나타낸 것으로, 경사각이

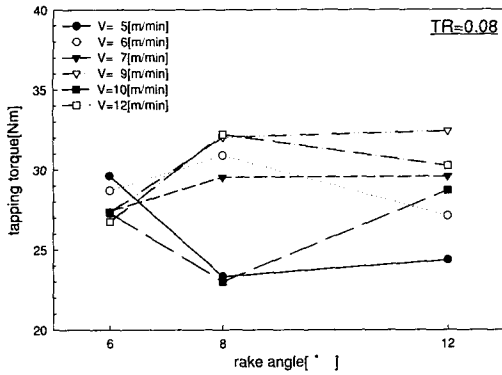


Fig. 5(a) Relation between rake angle and tapping torque at thread relief 0.08

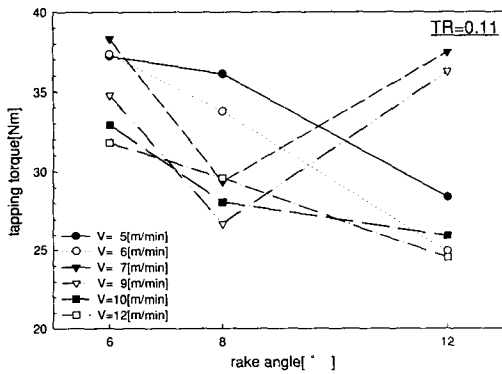


Fig. 5(b) Relation between rake angle and tapping torque at thread relief 0.11

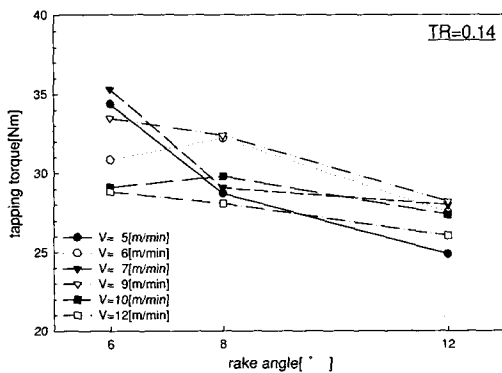


Fig. 5(c) Relation between rake angle and tapping torque at thread relief 0.14

6° 인 경우에 절삭속도가 증가할수록 태핑토크가 감소함을 알 수 있다. Fig. 5(b)의 나사여유가 0.11 일 경우와 Fig. 5(c)의 나사여유가 0.14일 때, 절삭 속도 12mm/min에서 경사각이 증가할수록 가장 안정적으로 태핑토크가 감소함을 알 수 있다. Fig. 5(d)는 절삭속도가 12m/min일 때이며, 나사여유가 0.11과 0.14인 경우에 경사각이 증가함에 따라 태핑토크가 반비례적으로 떨어지고 나사여유가 0.11일 때에 그 변화의 폭이 큰 것으로 나타났다.

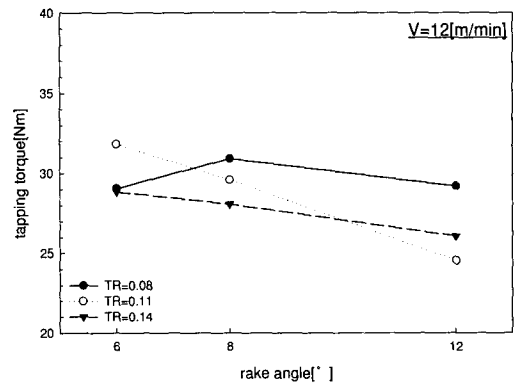


Fig. 5(d) Relation between rake angle and tapping torque

경사각과 태핑토크의 관계로부터 다음과 같은 사실을 얻었다.

- 경사각과 태핑토크는 반비례 관계의 경향을 가지고 있으며, 나사여유에 의해 그 기울기 값이 결정된다.
- 경사각이 작은 영역에서는 절삭속도가 증가할수록 태핑토크가 감소하나, 경사각이 큰 영역에서는 태핑토크가 불규칙적으로 변화하는 경향을 보이는데, 이는 공구의 형상에 따른 영향보다 칩 배출에 의한 영향이 더 크기 때문이라 생각된다.

4.1.2 나사여유(TR:thread relief)

나사여유를 0.08, 0.11, 0.14로 변화를 주어 실험한 결과를 Fig. 6(a)~Fig. 6(d)에 나타내었다. Fig. 6(a)는 경사각이 6° 일 때 절삭속도에 따른 나사여유와 태핑토크의 관계를 보여주는 것으로, 태핑토크가 나사여유 0.11을 경계로 반전되는 사실로부터 나사여유에 따른 태핑토크의 변화예측은 이론적으로 불가능하며 경험적 결과로부터 얻어짐을 알 수

있다. Fig. 6(b)는 경사각이 8° 일 때로 절삭속도가 7m/min, 12m/min의 경우 나사여유의 변화에 대해 태핑토크가 거의 일정함을 알 수 있다. 반면 절삭속도가 5m/min의 경우는 나사여유에 따라 태핑토크의 변화가 크고 6m/min의 경우는 나사여유에 관계없이 경사각 8° 에서 태핑토크가 높은 평균값으로 나타남을 알 수 있다. Fig. 6(c)는 경사각이 12° 인 경우인데 절삭속도에 따라 변화하는 경향은 다르나 경사각이 6°, 8° 인 경우보다 나사여유에 따른 태핑토크의 변화 폭이 작아 안정적인 것으로 나타났으며, 이로부터 경사각이 클수록 나사여유 값에 영향을 적게 받은 것으로 나타났다.

Fig. 6(d)는 절삭속도가 10m/min일 때로 경사각이 12° 이고 나사여유가 0.11일 경우에 태핑토크가 가장 낮게 나타났다.

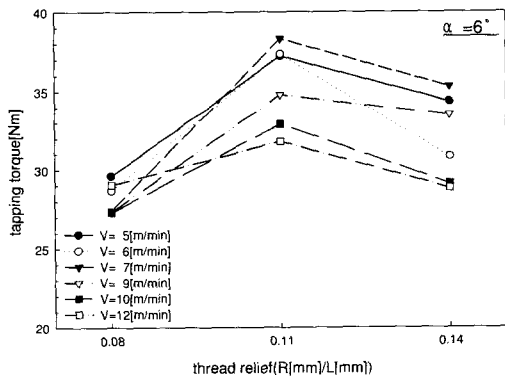


Fig. 6(a) Relation between thread relief and tapping torque at rake angle 6°

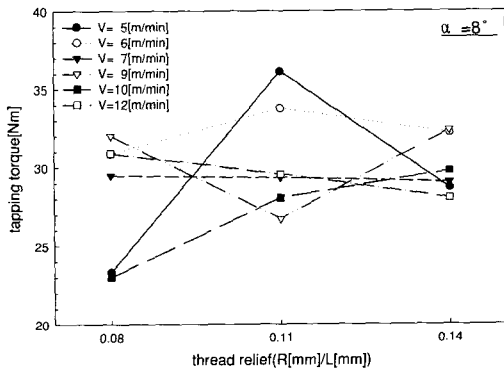


Fig. 6(b) Relation between thread relief and tapping torque at rake angle 8°

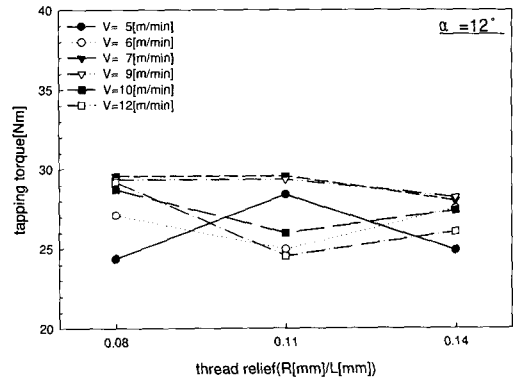


Fig. 6(c) Relation between thread relief and tapping torque at rake angle 12°

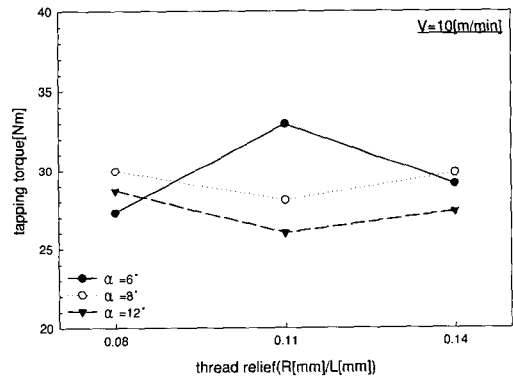


Fig. 6(d) Relation between thread relief and tapping torque

나사여유와 태핑토크의 관계로부터 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

- 나사여유에 따른 태핑토크의 예측은 경험적 지식으로만이 가능하며 복합적인 인자들에 의해 그 변화 경향이 나타남을 알 수 있다.
- 상대적으로 경사각이 큰 경우에 나사여유에 따른 태핑토크의 변화 폭이 적었고, 전반적으로 태핑토크는 경사각에 의한 영향이 크게 나타나고 나사여유의 경우에는 영향이 적은 것으로 나타났다.

4.2 절삭속도에 따른 태핑토크

Fig. 7은 탭 형상이 다른 9종류의 실험용 탭으로 절삭속도가 5m/min, 6m/min, 7m/min, 9m/min, 10m/min, 12m/min으로 변화할 때 태핑토크를 나타낸 것이다. 절삭속도가 증가할수록 태핑토크는 탭

형상에 따른 영향을 적게 받은 것으로 나타났다. 절삭속도에 관계없이 경사각이 6° 이고 나사여유가 0.11인 경우에 태핑토크의 평균이 가장 높았고, 경사각이 12° 이고 나사여유가 0.14인 경우에는 태핑토크의 평균이 가장 낮았다. 그리고 경사각이 6° 이며 나사여유가 0.08일 때와 경사각이 12° 이며 나사여유가 0.14인 경우에 절삭속도와 관계없이 태핑토크가 평균 이하로 나타남을 알 수 있다. 경사각이 12° 이고 나사여유가 0.11인 경우는 절삭속도에 따라 태핑토크의 변화가 가장 크지만, 절삭속도가 12m/min인 경우에 태핑토크가 가장 낮게 나타난 것으로 보아 본 실험을 통하여 절삭성능 면에서 가장 좋은 탭 형상 모델임을 알 수 있다.

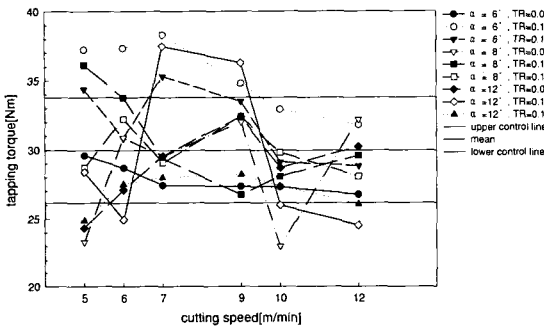


Fig. 7 Relation between cutting speed and tapping torque

4.3 칩 형상과 태핑토크

태핑에서 문제발생의 대부분은 탭 형상에 의한 칩 배출의 문제로 이에 따른 칩 형상에 대한 변화 특성을 분석함으로써 그 영향을 알 수 있다.

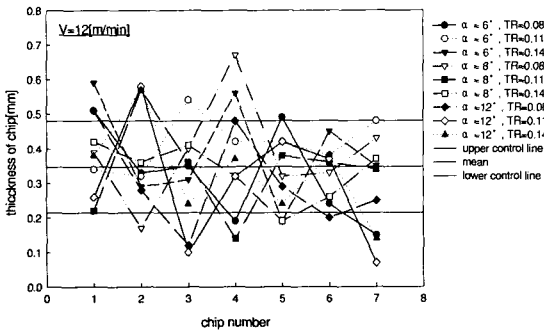


Fig. 8 Relation between chip number and thickness of chip

Table 3 Mean to thickness of chip with various of tap

α	6°			8°			12°		
TR	0.08	0.11	0.14	0.08	0.11	0.14	0.08	0.11	0.14
thickness [mm]	0.323	0.414	0.391	0.387	0.339	0.333	0.304	0.303	0.331

Fig. 8과 Table 3은 절삭속도가 12m/min일 때 배출 칩의 순서에 따른 그 두께를 나타낸 것으로서, 경사각 6° 이며 나사여유가 0.11의 경우에 칩 두께의 변화가 가장 적고 칩 두께의 평균값이 가장 큰 것으로 나타났으며, Fig. 7과 관련해서 배출 칩의 두께가 클수록 태핑토크가 크게 나타남을 알 수 있다. 반면에 경사각이 12° 이며 나사여유가 0.11인 경우에는 칩 두께의 변화가 가장 크고 칩 두께의 평균값이 가장 적은 것으로 나타났는데, Fig. 7과 관련해서 배출 칩의 두께가 적을수록 태핑토크가 적게 걸리는 것으로 보아서 태핑토크와 칩의 두께는 서로 비례관계가 있는 것으로 나타났다.

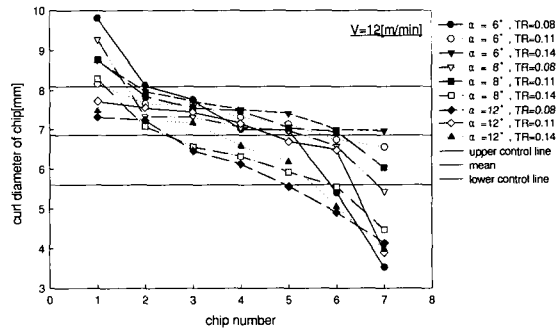


Fig. 9 Relation between chip number and curl radius of chip

Table 4 Mean to curl diameter of chip with various of tap

α	6°			8°			12°		
TR	0.08	0.11	0.14	0.08	0.11	0.14	0.08	0.11	0.14
curl diameter [mm]	6.95	7.33	7.63	7.14	7.39	6.32	5.97	6.72	6.25

Fig. 9와 Table 4는 절삭속도가 12m/min일 때 배출 칩의 순서에 따른 칩의 커일지름의 변화를 보여주는 것으로, 경사각 6° 이고 나사여유가 0.11의 경우에 그 변화가 가장 적었고 Fig. 8과 관련해서 칩의 두께가 클수록 커일지름도 커지며 안정적으로 배출되는 것으로 나타났다.

4.4 피삭 암나사의 현미경 관찰

태핑실험 결과물을 M14×2의 3등급 암나사용 프리그 게이지로 측정된 결과 유효 한 것으로 나타나, 피삭 암나사는 3등급의 정도로 나타났다. 암나사 다듬질 면을 분석하기 위해 피삭 암나사 중앙부를 절단하여 공구현미경에서 50배율(대안10× 대물5)로 확대시켜 관찰하였다. 나사의 피치선 골은 경사각이 작을수록 다듬질 면이 양호하였고, 경사각이 6° 이고 나사여유가 0.11일 경우에 다듬질 면이 가장 좋았다. 여기에서 Fig. 7의 관계로부터 적사적인 태핑토크가 클수록 다듬질 면이 좋은 것으로 나타났으며, 칩 배출과 관련해서도 칩 두께의 변화가 적은 경우에 칩 배출이 용이하며 그에 따라 다듬질면도 좋은 것을 알 수 있다. 나사의 산마루의 경우는 경사각이 클수록 표면이 상대적으로 좋았고 나사여유도 클수록 좋았다. 여기에서 경사각이 큰 경우에는 칩의 용착이 심하고 나사여유가 클수록 적었다. 경사각이 8° 이고 나사여유가 0.14인 경우에 산마루 다듬질 면이 가장 좋았다.

나사의 다듬질 면을 거시적으로 관찰한 결과 탭 형상에 따른 피치선 골에서의 다듬질 면의 영향은 적고 나사 산마루의 경우는 그 영향이 크게 나타나, 피삭 암나사에 칩이 용착하여 정도에 큰 영향을 끼치지 않도록 탭 형상의 설계가 요구됨을 알 수 있다.

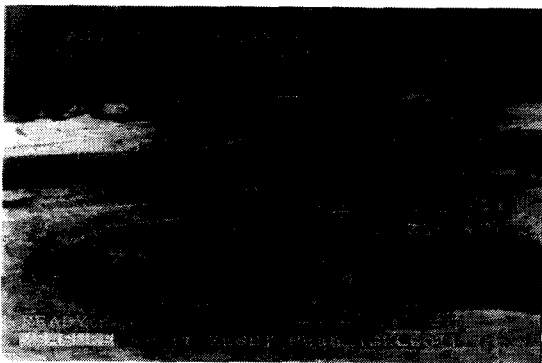


Photo. 1 Deposition of chip on thread root and wear by the friction of chip and thread crest

4.5 피삭재의 경도변화 측정

STS304 압연강관의 경도변화를 로크웰 경도 시험기로 측정된 결과 다음과 같은 변화를 알 수 있다. 초기 압연강관의 경우에 HR76~79였으며, 나

사내기 구멍가공 후의 경도는 HR83~85로 나타났고, 태핑 후의 경도는 HR91~96로 나타나 가공경화 현상이 뚜렷한 것으로 나타났다. 이와 같이 STS304는 가공경화성이 높은 것으로 나타나 공구 마모와 결손 및 절입 경계손상 등의 주된 요인이 됨을 알 수 있다. Photo. 2는 피삭 암나사의 단면에서 볼 수 있는 가공 경화층을 보여주는 것으로 절삭조건에 따라 가공경화층의 두께가 변화하며, 절삭속도의 영향이 가장 큰 것으로 관찰되었다.



Photo. 2 Work-hardening layer by tapping

4.6 성능 비교평가

본 실험용 탭 중 절삭성능이 가장 좋은 경사각 12° 에 나사여유가 0.11인 탭과 상용제품 중 스테인리스강 전용 탭을 비교 분석하였다. 비교 대상의 기준은 호모처리 된 고속도공구강(HSS)의 재종이며, 막힌구멍용 스파이럴 탭이다. Table 5는 절삭속도를 12m/min으로 할 때 태핑을 8회 실시하여 얻은 태핑토크의 평균값이다. 이 결과로부터 본 실험용 탭의 태핑토크가 가장 적은 것으로 나타났으며, 탭 형상에 따른 절삭성능에 대한 실험결과가 검증되었다.

Table 5 Comparison of tapping torque to 3-company

Co. / Def.	T (testing tap)	O	Y
tapping torque [Nm]	29.64	32.87	31.82

Photo. 3은 비교 평가한 3社의 탭과 배출 칩의 형상을 보여주는 것으로 칩 형상에 있어서도 많은 차이를 보였다.

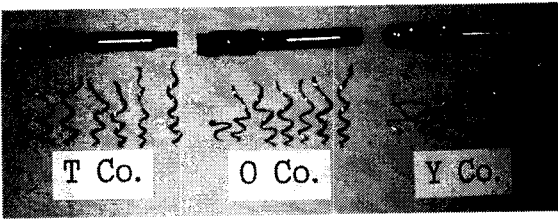


Photo. 3 Comparison of tap and chip formation to 3-Company

5. 결 론

스테인리스강 전용 탭을 설계·제작하고, 절삭 조건에 변화를 주어 실험한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 최적절삭조건은 탭 형상이 경사각 α 가 12° 이고 나사여유 TR이 0.11이며, 절삭속도가 12m/min인 경우에 절삭성능이 가장 좋은 것으로 나타났다.
- (2) 경사각이 클수록 태핑토크가 안정적으로 감소하며, 경사각과 태핑토크는 반비례 관계의 경향을 가지고 나사여유에 의해 그 기울기 값이 결정되는 것으로 나타났다.
- (3) 절삭조건에 강화에 따른 난삭재 가공에서 볼 수 있는 현상으로서, 나사여유의 변화에 따라 태핑토크와 같은 변동부하가 비례적으로 작용하지 않고 반비례적으로 반전되는 변곡점이 존재하는 것으로 나타났다.
- (4) 태핑토크는 경사각에 의한 영향이 크고, 나사여유의 변화에 따른 태핑토크의 예측은 경험적 지식으로만이 얻어질 수 있다.
- (5) STS304의 태핑실험 결과에서, 설정조건 중 최적 절삭속도는 12m/min의 경우가 절삭성능 면에서 가장 좋은 것으로 나타나 기존 기술자료상의 5~8m/min보다 1.5배 이상 고속화가 가능하였다.⁽⁴⁾
- (6) 배출 칩의 두께가 클수록 태핑토크는 높고 두께가 적을수록 태핑토크가 낮은 것으로 나타나, 배출 칩의 두께와 태핑토크는 비례관계가 성립한다.
- (7) 배출 칩의 두께가 클수록 커일지름은 커지고, 1 cycle동안 순차적으로 배출되는 칩의 두께와 커일지름의 변화가 적은 경우에 칩의 배출이

용이하며 다듬질 면의 정도도 좋은 것으로 나타났다.

- (8) 피삭 암나사의 피치선 끝에서는 칩의 용착이 발생하고 나사 산마루에서는 배출 칩과의 마찰에 의한 마모와 칩이 씹히는 현상이 탭 형상에 따라 많은 차이를 보이는 것으로 나타나, 피삭 암나사의 다듬질 면의 정도는 탭 형상에 따라 크게 좌우된다는 결과를 얻었다.
- (9) STS304의 태핑 후 탭 나사선과 동일한 경화층이 뚜렷하게 관찰되었고, 작업 전후로 10%의 경도변화를 가져와 가공경화성이 높은 것으로 나타났다.
- (10) 본 실험을 통하여 탭 개발에 있어 검토해야 할 부분들 중 최우선적으로 고려되어야 할 부분은 탭 형상에 따른 태핑토크의 변화특성이며, 특히 난삭재의 경우는 절삭특성에 적합한 전용 탭의 설계가 이루어져야 한다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. Lorenz.G., "A Study on the Effect of Tap Geometry," Mech. Eng. Tranction, Inst. Eng., Australia, ME, Vol. 3, pp. 101-104, 1978.
2. Lorenz.G., "An Investigation of Tap Relief in Relation to Tap-size Specifications," C.I.R.P. Annals X, pp. 171-179, 1962.
3. Lorenz.G., "The Effect of the Rake Angle in Nut Tapping," C.I.R.P. Annals XII, pp. 116-119, 1963.
4. 오-에스-지-株式會社, "TAPPING作業," 韓國OSG株式會社, K-OSG series No. 3, pp. 36, 1990.
5. Serope Kalpakjian, "Manufacturing Processes for Engineering Materials," Addison-Wesley Inc., pp. 150-152, 1984.
6. 狩野勝吉, "難削材의 切削加工 技術," (株)技術情報, pp. 159-160, 1989.
7. Zielinski.Z., "A Method of Testing Tap Performance," Machinery, pp. 1364-1377, 1964.
8. Man-Sung Choi, "A Study on Tapping Torque in High Speed Tapping," KSME, Vol. 18, No. 12, pp. 3195-3201, 1994.
9. Man-Sung Choi, Ji-Bok Song, "On Tap Geometry and Characteristics of Torque in High Speed Tapping," KSPE, Vol. 13, No. 8, pp. 139-145, 1996.