

초음파 미세구멍 관통가공에서 왁스 코팅을 이용한 출구크랙 방지에 관한 연구

이항*, 고태조*[#], 백대균**

*영남대학교 기계공학부, **경북대학교 기계공학부

A Study on Preventing Cracks at the Small Hole Exit in Ultrasonic Machining Using a Wax Coating

Hang Li*, Tae Jo Ko*[#], Dae Kyun Baek**

*School of Mechanical Engineering, Yeungnam University,

**School of Mechanical Engineering, Kyungbuk University

(Received 20 April 2015; received in revised form 26 May 2015; accepted 28 May 2015)

ABSTRACT

Ultrasonic machining (USM) does not involve heating or any electrochemical effects, and subsequently causes low surface damage, has small residual stress, and does not rely on the conductivity of the workpiece. These characteristics are suitable for the machining of brittle materials, such as glass or ceramics. However, USM for brittle materials generates cracks on the workpiece while machining, especially at the hole exit with a small diameter. In this study, wax coating was used to deposit wax on the back side of the workpiece to decrease the occurrence of cracks at the exit holes in USM, and it was finally removed with a cleaning process. The experimental results show that this technique is beneficial for restricting the occurrence of cracks in glass or ceramics.

Key Words : Ultrasonic Machining(초음파 가공), Crack(크랙), Wax Coating(왁스 코팅)

1. 서 론

최근 반도체, 전기·전자 부품, 항공기나 자동차 산업 분야 등에서 보다 정밀한 미세 부품의 수요가 증대되고 있고, 특히, 고강도와 고경도를 가진 소재에 대한 미세가공의 필요성이 증가하고 있다.

미세 형상 중에서는 미세 구멍 가공이 대부분이며, 미세 구멍을 가공하기 위한 방법으로는 방전 가공, 전해 가공, 레이저 가공, 초음파 가공 등의 방법이 있다. 이 중에서 특히 초음파 가공법은 유리, 세라믹 등과 같은 취성 재료나 비전도성 재료들을 가공하는데 적합한 방법이다.^[1-2] 초음파 가공은 전통적인 기계적 재료 가공방법이 아니기 때문에 일반적으로 재료 제거율이 낮지만, 이 가공은 재료의 전기적 또는 화학적 특성에 제약을 받지 않는다.^[3]

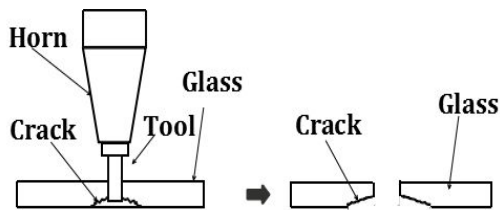
Corresponding Author : tjko@yu.ac.kr

Tel: +82-53-810-2576, Fax: +82-53-810-4627

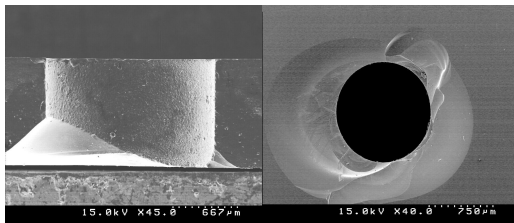
또한, 초음파 가공은 비열, 비화학 그리고 비전도의 방법이기 때문에 공작물 재료의 물리적 화학적 변화가 발생하지 않는다. 이러한 특성으로 인해 초음파 가공기술은 전기 전도성과 관련 없이 고경도 재료나 유리나 세라믹과 같은 취성 재료의 가공에 적합하다.^[4-11]

초음파 가공은 1927년 Wood와 Loomis에 의해 도입된 이후,^[5] 초음파 드릴링, 초음파 입자가공, 초음파 절삭, 초음파 치수가공 또는 슬러리 드릴링 등으로 명명해왔다.^[5] 그러나 오늘날 초음파 충격 연삭 또는 초음파가공(USM)이 가장 일반적인 명칭이다.^[5] 초음파 진동을 이용하여 취성재료를 가공하는 경우 크랙이 빈번하게 발생한다. 특히, 구멍을 관통 가공할 때는 입구보다는 구멍 출구 쪽에서 크랙이 더 크고 많이 발생한다. 선행연구에서는 관통하지 않는 막힌 구멍의 입구에서 크랙에 대한 연구를 수행하였고^[1], 본 연구에서는 미세구멍의 관통 가공에서 크랙을 감소시키는 연구를 수행하였다.

즉, Fig. 1(a)에서 보듯이 구멍 관통가공 실험을 할 때 가공물(유리) 밑 부분에는 지지되는 힘이 없기 때문에 가공시 출구부분에서 취성과파괴에 의해



(a) crack generation in the exit of glass hole



(b) SEM of the glass hole

Fig. 1 Crack generation in the exit of the hone in ultrasonic machining.

크랙이 발생한다. 따라서 충전재료의 역할을 하는 경질왁스를 구멍가공의 출구부분에 코팅을 함으로 인하여 구멍의 크랙을 줄이고자 하였으며, 실험적으로 그 성능을 제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

초음파 가공에서 초음파 발전기는 20kHz 이상의 높은 주파수의 전기 에너지를 기계적 진동으로 변환시킨다. Fig. 2와 같이 진폭이 작은 진동은 혼(horn)을 통과하면서 가공할 수 있는 진폭으로 확대된다.

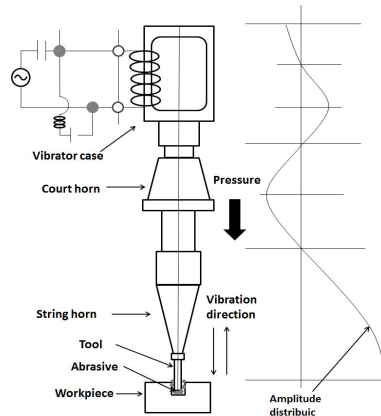


Fig. 2 Basic apparatus of USM



Fig. 3 Stationary Model AP - 500

따라서 공진의 관점에서 큰 변위를 얻기 위해서는 혼/공구계의 설계가 매우 중요하다. 본 실험에 사용된 초음파 가공기는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 미국 Sonic-Mill사의 Stationary Model AP - 500이다. 초음파가공기는 시스템 전원, 제어 장치, 초음파 발전기, 혼, 슬러리 공급 장치 등으로 구성되어 있다.

2.2 코팅 재료

본 실험에 사용한 코팅재료는 Sonic-Mill WAX #600-006인데 Fig. 4는 상온상태에서의 고체왁스의 외관이다. 이 왁스는 고체상태인 경우 초음파 가공으로 가공이 될 수 있고, 유리에 잘 붙는다. 또한, 상온에서 고체 형태로 유지되고, 용점은 74℃ 정도인데, 상세한 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Physical properties of wax

Contents	Properties
State	Solid at room temperature
Color	Clear to very pale amber
Softening Point	77~77℃
Flash Point	252℃
Viscosity	120℃~6000 c.p
Strongpoint	(a) Excellent water resistance. (b) Good bond strength to porous and non-porous surfaces. (c) Good solubility in acetone and MEK.

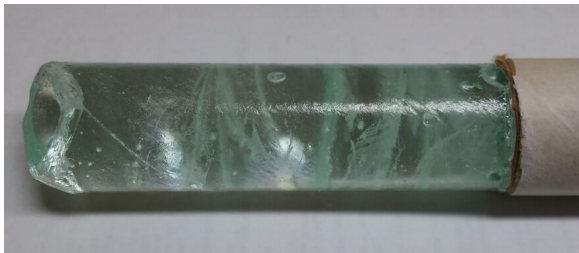


Fig. 4 Sonic-Mill Wax #600-006

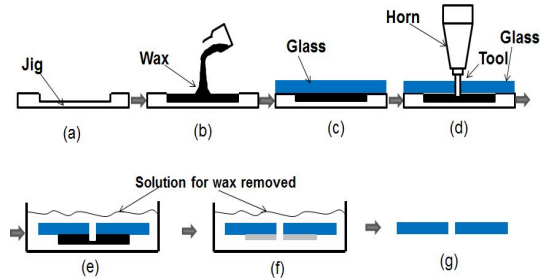


Fig. 5 Flow-chart of USM process on glass with wax coating

2.3 왁스 코팅 방법

본 연구에서 수행된 초음파 가공의 순서는 우선 Fig. 5와 같이 a, b, c는 유리 밑 부분에 왁스를 코팅 과정이고, d는 왁스 코팅한 후에 초음파 가공을 이용한 미세 홀의 가공 과정이다. 그 이후 e, f는 홀을 가공한 후에 유리 위에 남아있는 왁스를 제거하는 과정이고, g는 완성된 공작물이다.

코팅을 하는 과정은 Fig. 6과 같이 왁스를 칩으로 잘라내고 왁스 칩이 준비된 지그의 홈 안에 넣고 가열판에서 약10분 정도 가열하여 왁스를 완전히 녹인 다음에 유리를 왁스 위에 놓고 냉각시키면 왁스 코팅이 완성된다.

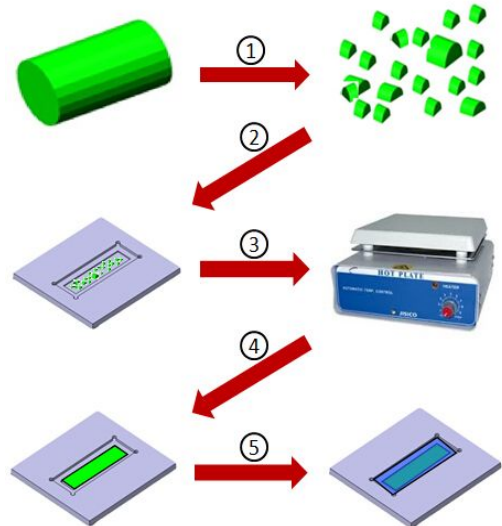


Fig. 6 process of wax coating on glass

3. 실험결과 및 고찰

상기와 같은 시편 준비과정을 통하여 유리 밑 부분에 부착되는 왁스 코팅이 완성된다. 실험 목적에 따라서 지그의 깊이, 즉, 왁스를 채워 넣는 깊이는 0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm 3가지로 만들었다. 이렇게 준비된 3가지 두께의 왁스코팅 유리 재료에 대해 구멍가공을 위하여 표 2와 같은 실험조건으로 실험을 하였다.

가공이 완료되면 공작물(유리) 위에 코팅된 왁스는 Fig. 7과 같이 공작물(유리)을 지그 위에서 분리한 다음, 아세톤 용기 안에 담가 넣고 초음파 세척기로 교반하여 제거하였다. 마지막에 탈염수로 세정한 후 씻으면 왁스를 완전히 제거할 수 있다.

미세구멍 가공 실험 결과는 SEM 을 이용하여 관찰하였다. Fig. 8 은 각 실험조건을 관찰된 각각의 SEM 사진을 나타낸 것이다.

Table 2 Experimental conditions

Items	Type
-Frequency	20 kHz
-Feed rate	5 μ m/s
-Amplitude	14.03 μ m
-Abrasive material	Aluminum Oxide #1000
-Slurry ratio	1:2
-Tool	Hard metal 1 mm
-Workpiece	Glass 1.0 mm
-Wax tickness	0.5 mm, 1.0 mm, 2.0 mm

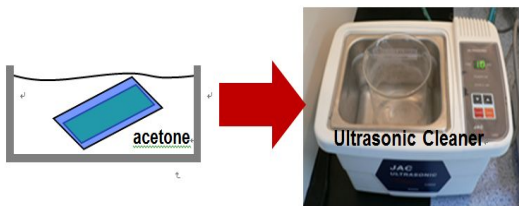
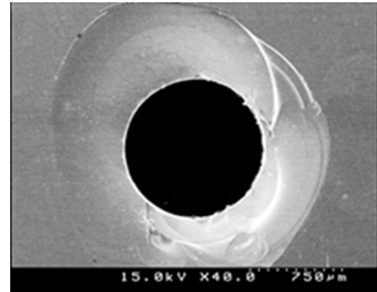
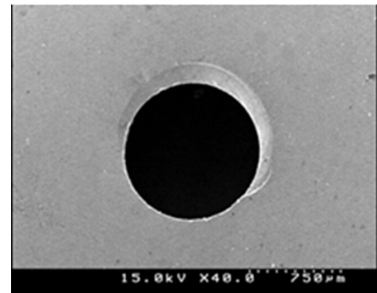


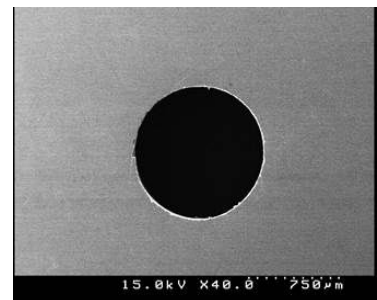
Fig. 7 The sketch map of wax coating removing



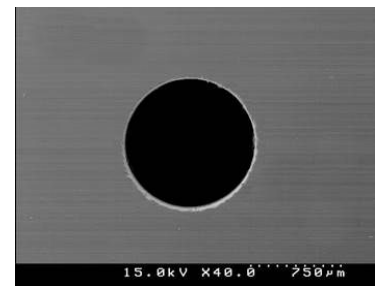
(a) Without wax coating



(b) Coating thickness= 0.5 mm



(c) Coating thickness= 1.0 mm



(d) Coating thickness= 2.0 mm

Fig. 8 Micro-hole of exit

Fig. 8 을 보면 왁스 코팅을 하지 않은 경우에 구멍 출구에 크랙이 많이 생기며 정밀도가 떨어진 다. 두께 0.5 mm 로 왁스 코팅하는 경우에 크랙이 비교적 많이 발생하였고, 코팅하지 않은 때보다는 크랙이 많이 감소되었다. 두께 1.0 mm 와 2.0 mm 로 왁스 코팅한 경우 크랙이 발생하지 않고 구멍 출구주변이 완전히 깨끗하게 나타났다.

초음파 가공을 이용하여 홀을 가공한 후에 광학 현미경(SV-55, 썬텍비전)을 이용하여 치수를 측정 하였다. 치수 측정 방법은 Fig. 9 와 같이 가공한 홀의 중심으로 16 등분하며 직경과 크랙을 같이 측정하고 식(1)을 이용하여 구멍의 평균 치수를 계산 할 수 있다. 측정 횟수 n 이 많을수록 얻은 치수가 더 정확하다.

$$D_a = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n} \quad (1)$$

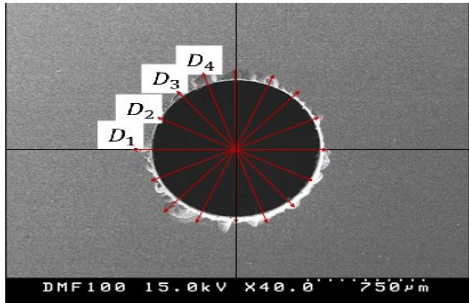


Fig. 9 The shape of the hole entrance and cracks formed by USM

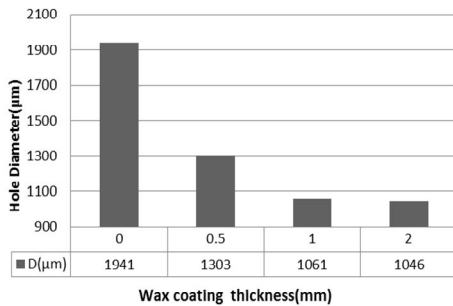


Fig. 10 The average diameter of machined holes

식 (1)을 이용하여 구멍 출구의 치수를 측정하여 비교하면 Fig. 10 과 같이 나타난다. 결론적으로 초음파 관통가공에서 공작물(유리) 밑 부분에 왁스 코팅한 것이 홀 출구의 크랙을 방지할 수 있다. 그리고 왁스 코팅 두께가 크면 클수록 크랙의 방지 효과가 더 좋은 것을 알 수 있는데 1.0mm 가 적합한 것을 알 수 있다.

한편, 초음파 가공에서 공구의 마모에 대한 관찰 과정에서 적당히 마모된 공구가 새 공구보다 구멍을 가공할 때 크랙이 덜 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 본 실험에서는 초음파를 이용하여 구멍을 가공할 때 구멍 입구 및 출구에 크랙을 감소시킬 수 있는 새로운 공구형상을 설계하였다. 본 실험에서는 직경 1.5 mm의 초경합금 재질로 만든 공구를 사용하였으며 공구 형상은 Fig. 11 과 같이 총 4가지 형상으로 설계하였다.

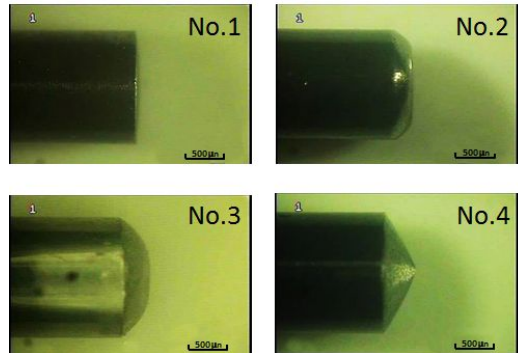


Fig. 11 Four kinds of tools

Table 3 Experimental conditions

Items	Type
-Frequency	20 kHz
-Feed rate	5 µm/s
-Amplitude	14.03 µm
-Abrasive material	Aluminum Oxide #1000
-Slurry ratio	1:2
-Tool	Hard metal 1 mm
-Workpiece	Glass 1.5 mm

진동자의 공진주파수는 20 kHz이고 공구 끝단의 진폭이 14.03 μm 로 설정하였다. 가공물은 두께 1 mm의 유리이고 지립은 Aluminum Oxide #1000을 사용하였다. 가공방법은 연속 가압법을 사용하였다. Table 3은 초음파 가공 실험 조건을 나타내었다.

에 측정된 출구의 평균 치수가 입구보다 더 크게 나타난다. Fig. 12 (b)를 살펴보면 4가지 공구로 가공한 구멍출구의 평균 치수가 크게 차이를 보이고 있는데, Tool 4의 평균 직경 치수가 가장 적은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

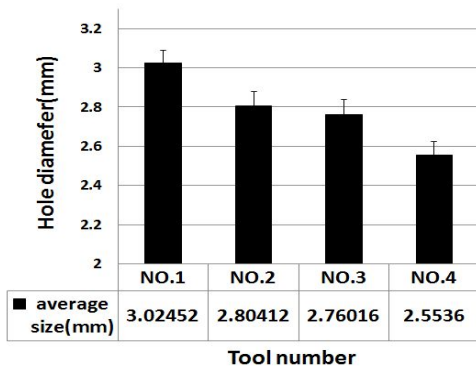
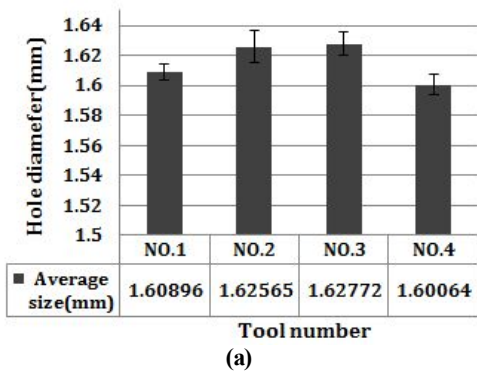
초음파 가공을 이용하여 취성재료에 홀을 가공할 때 크랙이 빈번하게 발생한다. 특히, 홀 출구 쪽에 크랙이 입구 쪽보다 크게 발생하기 때문에 공작물 출구 부분에 왁스 코팅을 하여 초음파 가공을 수행하였다. 유리의 미세 구멍 관통가공을 수행한 후 왁스를 클리닝 공정으로 제거하고 출구의 직경을 측정하였다. 왁스 코팅의 두께를 크게 할수록 관통 구멍 출구에 크랙을 완전히 방지하는 효과가 있는 것을 확인할 수 있었고, 1 mm가 적절한 두께임을 알 수 있었다. 초기 공구 형상을 다자인 하여 크랙을 감소시켰다. 총 4가지 공구 형상을 선정하여 제작하였고, 그 중에 공구 끝 부분의 형상이 원추형상인 Tool 4가 다른 3가지 형상의 공구보다 크랙의 발생을 많이 감소시켰다. 따라서 초기 공구 형상을 원추형 공구로 제작하면 초음파 가공에서 크랙의 발생을 감소시켜 가공 정밀도를 향상시킬 수 있다.

후 기

이 논문(저서)은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066502)

REFERENCES

1. Baek, D. K., Ko, T. J., and Yang, S. H., "Enhancement of surface quality in ultrasonic machining of glass using a sacrificing coating."



(b)

Fig. 12 Measurement of the average size of hole
(a) hole entrance (b) hole exit

구멍 치수 측정 방법을 이용하여 가공한 홀 입구와 출구의 평균 치수를 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12 (a)에서 보는 것과 같이 공구형상 4로 가공한 구멍의 평균 치수가 가장 작게 나타나 크랙이 가장 적다. 초음파 가공에서 구멍 입구 쪽보다 구멍 출구 쪽에서 크랙이 더 많이 발생하기 때문

- Journal of Materials Processing Technology, Vol. 213, No. 4, pp. 553-559, 2013.
2. Nishimura, G., Ultrasonic machining-Part I, J. Fac. Engg. Tokyo Univ., 24(3), pp. 65-100, 1954.
 3. Noppiras E. A., "Report on ultrasonic machining", Metalworking Production, Vol. 100, pp. 1283-1288, 1956.
 4. Rozenberg, L. D., Kazantsev, V. F., Makarov, L. O., and Yakhimovich, D. F., Ultrasonic cutting, Consultants Bureau New York, 1964.
 5. Weller, E. J., Non-traditional machining processes, Soc. of Manuf. Engineers, pp. 15-71, 1984.
 6. Guzzo, P. L., Shinohara, A. H., and Raslan, A. A., "A comparative study on ultrasonic machining of hard and brittle materials" J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., January-March 2004, Vol. 26, No. 1, 2004.
 7. Ishikawa, K., Suwabe, H., Nishide, T., and Uneda, M., "A study on combined vibration drilling by ultrasonic and low-frequency vibrations for hard and brittle materials," Precision Engineering, pp. 196-205, 1988.
 8. Lee, S.W., Choi, H.Z., Yi, B.G., and Choi, Y.J. "A study on micro-hole machining technology using ultrasonic vibration" KSPE Autumn Annual Meeting, pp. 231~234, 2002.
 9. Kang, I. S., Kim, J. S., Seo, Y. W., and Kim, J. H., "An experimental study on the ultrasonic machining characteristics of engineering ceramics," Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 20, No. 2, pp. 227-233, 2006.
 10. Kang, I. S., Kang, M. C, Kim, J. S., Kim, K. H., Seo, Y. W., "A study on the ultrasonic machining characteristics of alumina ceramics," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 2, No. 1, pp. 32-38, 2003.
 11. Li, H., "A study on reduction of crack in machining of a micro hole by ultrasonic machining," M.S. Thesis, Yeungnam University, 2015.