

레이저 가공을 이용한 주얼리용 은합금의 가공특성

김우순⁺

(논문접수일 2007. 11. 16, 심사완료일 2007. 12. 5)

A Study on the Machining Properties of Ag-alloy for Jewelry Using Laser Machining

W. S. Kim⁺

Abstract

It is absolutely that jewelry industry are cut and formed by using Nd-YAG laser for most accuracy shapes. Moreover, Jewelry manufacturing is needed to be more precise working, more saved time and more improved finance. So, This Study will show the ideas which make exactly formed shape and advanced qualities when cutting Ag-alloy. This ideas will give the fact that beginners are able to use easily to change and compound the form of jewelries by using Nd-YAG laser.

Key Words : Nd:YAG Laser(Nd:Yag레이저), Jewelry Industry(주얼리 산업), Jewelry manufacturing(귀금속 제조)Ag-alloy(은합금)

1. 서론

오늘날에는 레이저 관련 기술이 발전함에 따라서 레이저 열원을 이용한 가공 기술이 절단, 용접, 천공, 마킹, 열처리, 및 미소 측정 등의 다양한 형태의 생산기술 분야뿐만 아니라 주얼리 가공 등에서 폭넓게 응용되고 있다.1) 특히 레이저가공은 오늘날 수작업보다 시간과 경제성이 높고 가공품질이 좋아서 주얼리 분야에 응용되어 비교적 빠른 속도로 널리 사용되고 있는 기술이다. 국내 주얼리 산업은 고부가가치 산업임에도 불구하고 첨단가공기술을 접목시키지 못하여 아직까지 수작업 의존도가 높은 실정이다. 노동집약적이고 경험에

의존하는 기본의 방식으로는 국제 경쟁력이 저하되므로 이를 극복하고 국제 경쟁력을 갖기 위해서 디자인의 Digital standard design을 개발하여 데이터베이스화하여야만 한다. 기존의 주얼리 가공분야에서는 은합금 판재를 절단 가공할 때, 이미지 도면을 접착제로 은합금 판재 위에 붙이고 톱으로 도면의 선을 따라서 절단 가공하는 방식을 주로 사용하고 있다. 그러나 형상이 복잡하거나 활자체에서와 같이 자유 곡선을 포함하고 있는 경우, 이를 수작업으로 가공하는 데에는 상당히 많은 시간과 숙련된 기술이 요구되고 인건비가 제조원가에 미치는 영향으로 경쟁력 저하를 가져오는 등 많은 어려움이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 Nd:YAG 레이저

⁺ 원광대학교 기계자동차공학부 (knamha@empal.com)
주소: 570-749 전북 익산시 신룡동 344-2번지

를 이용한 가공기술을 주얼리 산업에 응용하여 절단 및 형상화, 경제성 향상을 위한 빠르고 정확한 가공이 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 은합금 절단 가공시 정확한 형상 구현과 제품의 품질향상을 위한 은합금의 레이저 절단가공의 최적 데이터를 구축하여 숙련자가 아니더라도 누구나 새로운 디자인을 쉽게 변형하거나 조합할 수 있고 디지털데이터를 Nd-YAG 레이저 장치를 이용하여 다양한 크기나 복잡한 모양을 제작할 수 있도록 한다.

2. 레이저 특성과 가공 원리

레이저를 금속에 조사시키면 많은 부분이 금속표면상에 반사되고 일부가 흡수되며, 이 흡수된 부분만이 재료가공에 이용된다. 금속표면에 흡수되는 레이저의 양은 레이저의 파장과 금속의 전기전도도 등에 따라 다르며, 이 흡수된 부분은 금속표면에 수백 Å 이내에서 열로 바뀌므로 레이저빔은 표면열원에 해당한다.

레이저빔이 금속에 조사되는 경우 레이저 에너지밀도 증가에 따라 금속의 가열, 증발 및 플라즈마 발생이 있다. 레이저 출력밀도가 크지 못하여 금속의 가열만을 초래하는 경우에는 철강재의 표면경화에 응용되고 출력밀도가 커서 금속의 용융이 일어나면 금속의 표면합금화와 용접에 응용되고, 더욱 온도가 증가되어 금속의 증발이 일어나면 절단과 천공 등이 가공에 이용된다. 그리고 레이저 출력밀도가 더욱도 증가되어 증발된 입자들이 플라즈마로 차단되면 인입되는 레이저빔을 차단시키게 되어 레이저빔에 의한 가공기구로 작용하지 못한다.

레이저에 의한 재료가공의 기본적인 기구⁽²⁾는 재료의 가열, 용융 및 증발에 의하여 이루어지므로 이러한 기구가 응용되는 모든 가공방법들이 레이저가공의 범주에 속한다. 레이저빔에 의한 재료가공은 위에서 기술한 바와 같이 철강재의 표면강화, 금속의 용접, 여러 가지 금속과 비금속재료의 절단과 천공, 반도체의 어닐링과 박막의 미속가공 등 매우 다양하다. 그러나 이들 여러 가지 재료가공 그러나 이들 여러 가지 재료가공방법에서 레이저는 열원으로 이용되는 것이다. 따라서 레이저 재료가공의 특성과 장단점은 가공하려는 재료에서 레이저를 흡수하여 얻게 되는 열원의 특성에 직접 관련되므로 레이저의 여러 가지 특성은 가공하려는 재료의 물리적 및 화학적 성질에 크게 좌우된다. 그리고 레이저 광학부품으로 초점위치에 매우 큰 에너지밀도를 주도록 집중시킬 수 있다. 따라서 많은 부분을 균일하게 가열시켜야 하는 통상적인 방법에 비하여 가공이 빠르고 독특한 조직을

얻을 수 있다. 또한 부품의 내부에서 열로 인하여 야기되는 응력, 뒤틀림 및 균열 등을 방지할 수 있어 부품의 손상을 최소한으로 할 수 있고, 복잡한 부품의 가공도 가능하다.

2.1 레이저 가공흡수

레이저를 이용한 절단, 용접, 천공, 마킹 등의 가공시 레이저빔은 대부분의 경우 가공되는 소재의 표면에서 높은 에너지 강도를 얻기 위해 렌즈를 이용해 집중된 상태로 소재에 조사된다. 소재표면에 조사되는 레이저빔은 소재의 반사율에 따라 일부가 반사되고 나머지 에너지는 표면에서부터 빛의 세기가 지수적으로(exponentially) 감소하면서 소재에 흡수된다.

소재에 흡수된 빛에너지는 열에너지로 변환되면서 소재의 온도를 증가시키고 소재에 열영향부를 형성한다. 대부분의 경우 레이저 빛의 강도(intensity)가 메가와트(106 W/cm²) 이상이므로 레이저 스폿(spot)에 가까운 영역에서는 급속한 온도 상승과 함께 소재의 용융, 증발 등이 일어나 절단, 용접 등의 가공이 가능하게 한다. 자외선 빛의 흡수율은 높고, 적외선 빛의 흡수율은 상대적으로 낮고 흡수계수가 큰 재료는 표면의 온도가 급속히 상승한다.

2.2 소재별 레이저 빛의 반사율(Reflectivity)

소재표면의 반사율은 입사되는 레이저 에너지 가운데서 실제로 가공에 사용되는 에너지의 비율을 결정하는 중요한 물성치다. 반사율은 레이저 빛의 파장, 재료의 종류, 표면 상태 등에 따라 다르다. Fig. 1은 파장과 반사율과의 관계를 나타낸 것으로 금속의 반사율이 세라믹, 플라스틱, 나무 등의 재료에 비해 높다. 그 중에서 본 연구에 사용되는 재료인 은(Ag)반사율이 가장 높다는 걸 알 수 있다.

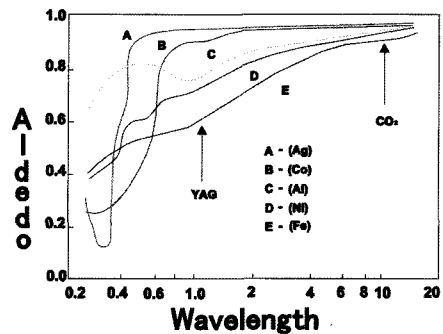


Fig. 1 Relationship of between wavelength and reflectance

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 실험에 사용된 Nd-YAG레이저는 최대출력 50W급으로 이태리 SISMA사에서 제작한 SMARK500을 이용하여 실험하였다. Fig. 2는 실험 장치를 나타내고 Table 1은 실험장치의 제원을 나타낸다.

Nd-YAG레이저는 활성매질이 기계적, 열적, 광학적으로 뛰어난 결정이기 때문에 높은 출력레벨의 동작 구현이 가능하며, 발생된 출력이 광섬유로 전송될 수 있기 때문에 다른 종류의 레이저에 비해 가공작업에서의 높은 생산 효율을 기대 할 수 있다. 이러한 레이저는 주로 마킹(marking)과 조각(engraving), 미세가공(micro-machining)등의 정밀 가공용으로 많이 사용되고 있다.

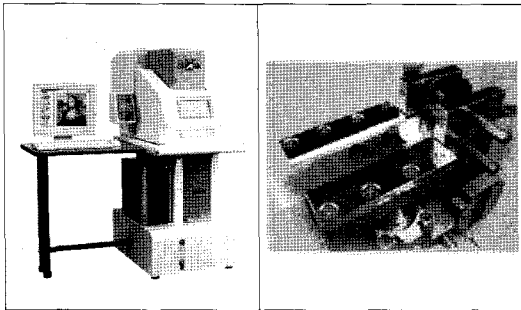


Fig. 2 Nd-YAG laser machine and device

Table 1 Specifics of experimental apparatus

Technical Date	SMARK500
Output power	50w
Wave length	1064nm
Max marking speed	5000mm/s
Position resolution	1.7μm
Fume suction	60mm
Power supply	220v 50/60Hz 1ph
Absorbed power	2300VA
Dimensions	140x100x140hcm
Weight	230kg
Marking area	65x65
Spot diam	35μm

3.2 실험방법

은은 가시광선 반사율이 90%에 이를 정도로 심해서 레이저 등 광학적 가공에 취약한 단점이 있으나 전·연성이 우수하고 용점이 961℃ 정도로 합금이 용이하여 가공성이 우수하면서도 백색의 표면 광택이 우수하여 백금(platinum)을 대체한 재료로 적합한 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 레이저를 이용하여 은 합금을 직접 가공하는데 있어서 최적의 가공면의 데이터를 구축하고자 5가지의 종류의 은 합금 시편을 제조하여 은합금 판재 두께에 따른 변화와 함량비에 따른 변화로 구분하여 실험하였다.

은 함량에 따른 변화 실험을 위하여 은 92.5%, 95.0%, 90.0%, 85.0%, 80.0%와 동을 합금하여 5가지 타입의 은합금 시편을 제작하였다. 합금은 세라믹도가나와 산소, 프로판의 혼합가스를 사용하여 대기 중에 봉사를 넣어가며 용융하고 틀에 부어 은합금괴를 만든 후 전동 롤러를 이용하여 5cm×10cm의 동일한 크기에 두께 1.2mm로 고정하여 실험하였다.

은합금 판재 두께에 따른 변화 실험에 사용된 시편은 실제 제품에 주로 사용되는 은합금(sterling silver : 순은(92.5%)과 순동(7.5%))을 사용하여 두께 0.8, 두께 1, 두께 1.2mm로 두께 변화를 주면서 실험하였다. 스텔링 실버(sterling silver)는 연성이 강하여 외부 흠집이 발생하기 쉽고 휘어짐 등의 형상변화가 발생하기 쉬운 은의 특성을 보완하기 위해 사용하였다.

레이저 절단가공을 위한 시제품 형상 디자인은 라이노3D CAD를 사용하여 디자인하였고 디자인 형상 크기는 10mm×10mm로 규격화하였다. SMARK500 레이저에 plate-chain dragging device를 설치한 후 은합금 시편을 고정하고 레이저 스테이지에 정확하게 위치시킨다. marking plane height를 측정하고 pointer center의 X축과 Y축을 정밀하게 이동시켜 레이저 포인터 빔을 조사시켜 절단 가공실험하였다. 실험결과는 광학현미경(optical microscope)을 이용하여 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 은 함량에 따른 결과 및 고찰

4.1.1 출력(Power)에 따른 절단면의 결과

출력(Power)를 변화시켜가면서 5가지의 은합금 시편을 절단 실험하기 위해 실험조건은 출력 파워 30(W), 35(W), 40(W), 45(W), 50(W)로 변화시키고 주파수(Frequency) 10, 속도 100(mm/s)으로 고정하여 레이저 절단하였다.

Fig. 3은 100배율로 촬영한 결과로서 출력 파워에 따른 절단면을 보여준다. 레이저 절단면은 육안으로 확인하기가 어려워서 광학현미경(optical microscope)과 전자 현미경(scanning electron microscope)으로 측정되었다. 확대촬영배율은 300배율, 100배율, 40배율을 사용하였다.

실험한 5가지의 은합금은 레이저 출력파워 30(W)에서 모두 절단 가공면이 상당히 거친 것을 볼 수가 있었다. 그리고 절단 가공면이 출력 파워 40(W), 50(W)보다 검게 탄 현상이 나타났는데 이 현상은 출력 파워가 약하면 레이저빔이 오랜 시간 시험 시편에 조사되어야 절단가능 해지므로 상대적으로 은합금에 조사되는 시간이 증가하고 이에 따라 조사되는 부분은 높은 온도가 발생되어 가공 면이 심하게 가열이 돼서 검게 탄 것으로 보여 진다. 출력 파워 50(W)로 가공한 경우 절단면이 시작되는 부분은 깨끗하고 중간부분 검게 타고 끝부분은 깨끗한 것을 볼 수 있었다.

실험결과로서 출력 파워가 30(W)에서 50(W)로 증가할수록 절단면이 양호한 것을 알 수 있었다.

4.1.2 주파수(Frequency)에 따른 절단면의 결과

주파수에 변화에 따른 레이저 절단면의 변화를 실험하기 위한 조건은 출력파워 50(W), 레이저 절단속도는 100(mm/s) 고정하고 주파수(Frequency)를 10(Khz), 15(Khz), 20(Khz), 25(Khz), 30(Khz)으로 변화를 주었다.

Fig. 4는 은합금이 다른 은합금 5가지를 실험 대상으로 레이저 절단 실험한 결과로서 주파수 변화에 따른 절단 가공면을 나타내고 있다.

주파수(Frequency) 30(Khz)를 보면 절단 가공면이 거칠고 레이저 절단속도가 느리다는 점을 알 수 있었다. 또한, 주파수 대역이 너무 낮으면 절단속도는 빠르나 가공면은 거칠다는 것을 알 수 있다. 이 현상은 레이저빔이 시험시편에 조사될 때 흡수되는 레이저빔의 양이 많아 시편을 깊게 용융시키는 현상으로 보여진다. 실험결과는 주파수(Frequency) 20일(Khz) 때가 가장 적절한 가공표면과 가공속도를 보였다.

Fig. 3 Cutting face of Ag-alloy by laser power

Ag content Power	925	950	900	850	800
30(W)					
35(W)					
40(W)					
45(W)					
50(W)					

Fig. 4 Cutting face of Ag-alloy by frequency

Ag content Frequency	950	925	900	850	800
10(Khz)					
15(Khz)					
20(Khz)					
25(Khz)					
30(Khz)					

4.1.3 레이저 가공속도(Speed)에 따른 절단면의 변화

레이저 속도의 변화에 따른 레이저 절단 가공면의 변화를 실험하기 위해 레이저 가공 속도는 20(mm/s), 40(mm/s), 60(mm/s), 80(mm/s), 100(mm/s) 으로 변화를 주고 출력파워는 50(W), 주파수(Frequency) 10(Khz)고정하였다.

Fig. 5는 레이저 가공속도에 따른 절단가공면의 변화를 나타낸 것이다. 실험결과 레이저 가공속도가 20(mm/s)인 경우 가공속도가 너무 느려 절단시간이 오래 소요되어 가공하기 어려울 것으로 예상되었으나 실제 절단 가공면은 양호한 상태를 보였다. 이 현상은 레이저빔이 천천히 조사되면서 가공면을 지나가는 속도가 느려서 빔의 간격이 좁아지면서 가공면이 상태가 고르고 양호하게 되는 현상으로 이 현상은 광학현미경 관찰 없이 육안으로도 확인할 수 있었다. 육안으로 확인한 결과 가공표면에 푸르게 광택이 나타날 정도로 가공면이 양호하다는 것을 알 수 있었다. 레이저 가공속도 40(mm/s), 60(mm/s)도 가공속도가 느려 절단시간이 오래 걸리며 가공면도 레이저 가공속도 20(mm/s)에서의 결과와 거의 비슷한 양상을 보였다. 레이저 가공속도 80(mm/s)로 절단가공한 결과, 가공 절단면이 전반적으로 양호하였고 가공시간도 20(mm/s),

40(mm/s), 60(mm/s)보다 빠르다는 것을 알았다. 레이저 가공속도 100(mm/s)는 레이저 가공 속도 80(mm/s)보다 가공시간 면에서는 큰 차이를 보이지는 않았으나 가공면에 있어서는 거의 비슷한 경향을 보였다.

4.2 두께변화에 의한 결과 및 고찰

은(92.5%)과 동(7.5%)을 합금하여 스텔링 실버(sterling silver)를 가지고 3가지 두께 0.8, 1, 1.2(mm)와 출력 파워, 주파수, 레이저 가공 속도에 변화에 따른 레이저 절단 가공실험을 하였다.

4.2.1 주파수(Frequency)변화와 반복회수의 관계

두께에 따른 실험을 진행하기 위한 실험조건은 출력 파워 50(W), 레이저 가공 속도 100(mm/s)로 고정하고 주파수(Frequency) 10(Khz), 15(Khz), 20(Khz), 25(Khz), 30(Khz)으로 변화를 주었다.

Fig. 6은 두께 0.8mm, 1mm, 1.2mm 은합금 시편을 주파수변화와 반복회수의 관계를 나타낸 것이다.

Fig. 5 Cutting face of Ag-alloy by laser cutting speed

Ag content Speed	950	925	900	850	800
20(mm/s)					
40(mm/s)					
60(mm/s)					
80(mm/s)					
100(mm/s)					

두께 0.8mm 은합금 시편은 주파수 10(Khz)과 15(Khz)대에서 80회 반복하여 절단되었고 주파수(Frequency) 20, 25(Khz), 30(Khz)대 영역에서는 100회 반복하여 절단되었다.

주파수10(Khz), 15(Khz)대에서는 가공 반복회수가 적고 가공속도가 빠르고 주파수(Frequency) 20(Khz), 25(Khz), 30(Khz)대에서는 가공회수가 많아지며 가공속도가 느려짐을 알았다. 두께에 따라 변화는 더욱 크게 발생하고 두께 0.8mm, 주파수(Frequency) 10(Khz)일 때 80회 반복으로 레이저 절단 가공되었다. 하지만 두께 1mm, 1.2mm일 때는 700회와 1400회이상 반복되어야 절단되었다. 한편, 은합금 시편이 너무 두꺼우면 일정 깊이이상에서 레이저빔의 출력파워가 현저하게 떨어짐을 알았다.

4.2.2 출력파워에 따른 절단면과 반복회수

출력파워를 30(W), 35(W), 40(W), 45(W), 50(W)로 변화시키면서 주파수(Frequency) 10(Khz), 속도100(mm/s)으로 실험조건을 주어 레이저 절단 실험하였다.

Fig. 6은 출력파워와 반복회수의 관계를 나타낸 결과이다. 출력파워 30(W), 35(W), 40(W)에서는 거의 비슷한 양상을

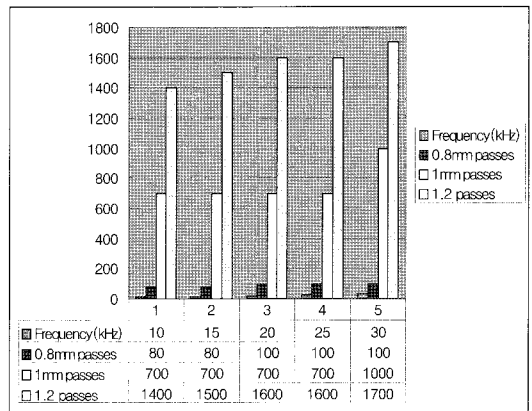


Fig. 6 Correlation between frequency and number of passes

보였지만 45(W), 50(W)에서는 보다 양호한 절단면을 얻을 수 있었다. 두께 0.8mm 은합금 시편은 출력파워가 45(W), 50(W)에서는 동일한 반복회수 80회에서 절단되었고 40(W)에서는 100회 반복, 30(W), 35(W)에서는 180회 반복회수에

절단가공되었다. 따라서 출력파워가 높으면 반복회수는 적어지고 출력파워가 낮으면 반복회수가 많아진다는 것을 알 수가 있었고 출력파워에서도 두께에 따른 변화는 주파수변화와 같은 결과를 얻었다. 한편 출력파워 50(W)에서 두께 1mm, 1.2mm일 때 반복회수는 700회와 1400회에 결과를 얻었다 이결과 시편이 두꺼울수록 레이저빔의 출력이 실험시편에 흡수되면서 출력이 현저하게 떨어지는 것을 알 수 있었다.

4.2.3 속도에 따른 절단면과 반복회수

레이저 가공속도에 따른 절단면과 반복회수와의 관계를 알아보는 실험은 레이저 가공속도를 20(mm/s), 40(mm/s), 60(mm/s), 80(mm/s), 100(mm/s)으로 변화를 주고 출력파워는 50(W), 주파수(Frequency) 10(Khz)고정하여 진행하였다.

Fig. 8은 레이저 가공속도와 반복회수와의 관계를 나타낸 결과이다. 두께 0.8mm, 1mm, 1.2mm 3가지 시편 모두에서

가장 양호한 절단면을 나타낸 레이저 가공속도는 20(mm/s)이었다. 출력파워의 변화에 따른 결과와는 반대로 속도가 느려지면 반복회수 적어지고 속도가 빠르면 반복회수는 많아짐을 알았다. 두께 0.8mm인 은합금 시편인 경우 레이저 가공속도 20(mm/s) 조건에서 반복회수 20회, 레이저 가공 속도 100(mm/s)조건에서 100회 반복하여 절단가공되었다. 하지만 두께 1mm, 1.2mm인 경우 레이저 가공 속도 20(mm/s)에서 반복회수는 120회, 1400회에 절단가공되었고 레이저 가공속도 100(mm/s)에서는 700회, 1700회에 절단가공되었다. 이결과 레이저 가공속도가 느리면 반복회수는 현저하게 줄어드는 것을 알았다. 이것은 레이저 빔의 조사시간이 느리면 조사되는 빔의 량이 늘어나면서 가공시편을 깊게 용융시켜 가공량이 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 레이저 가공속도가 느려지면 단순 형상을 가공할 때

Thickness Power	0.8mm	1mm	1.2mm
30(W)			
35(W)			
40(W)			
45(W)			
50(W)			

Thickness Speed	0.8mm	1mm	1.2mm
20(mm/s)			
40(mm/s)			
60(mm/s)			
80(mm/s)			
100(mm/s)			

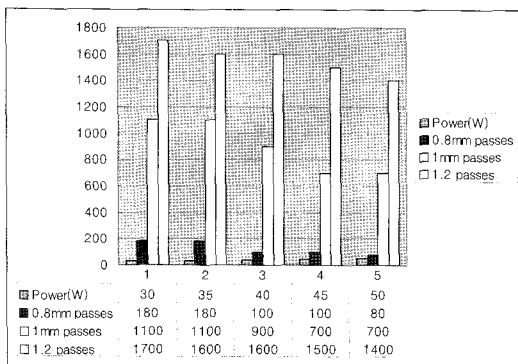


Fig. 7 Correlation between power and number of passes

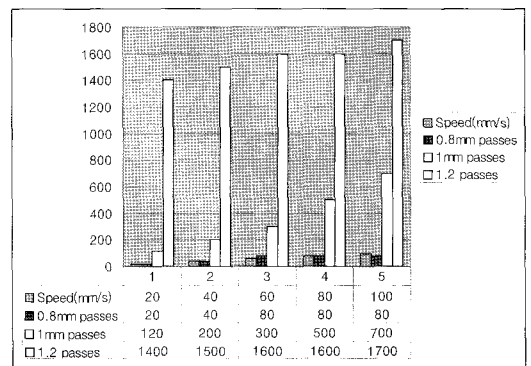


Fig. 8 Correlation between laser cutting speed and number of passes

에는 가공시간이 빨라지지만 복잡한 형상을 가공할 때에는 가공시간이 느려짐을 알았다. 실험에 사용된 형상은 사각, 원형 등 작고 단순한 모양이어서 레이저 가공속도를 저속으로 하는것이 전체 가공 시간에 유리할 것으로 사료되고 가공물이 크고 복잡한 형상의 경우에는 레이저 가공속도가 저속이면 전체 가공 시간이 늘어가는 경향이 있음을 알았다.

5. 결론

현재 레이저 가공기술은 급속하게 발전하고 있으며, 구미 선진국은 물론 국내기업체에서도 그 응용범위는 계속 확대되고 있으며, 새로운 용도개발에 대한 연구도 계속하여 이루어지고 있다. 레이저 가공기술은 종래의 기술과 달리 여러 가지 지식이 요구되는 기술 복합적인 첨단 분야 이므로 사전에 충분한 훈련과 기술이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Nd-YAG레이저를 이용하여 귀금속에 많이 사용하는 여러 가지 은 합금을 가지고 직접 가공하여 다음과 같은 조건하에 결과를 얻었다.

- (1) 925 스텐링 실버(sterling silver)에서 출력파워 30(W), 주파수 20(Khz), 레이저 가공속도 20(mm/s)인 조건에서 은합금 절단면의 상태가 가장 양호하였다. 950, 900, 850, 800 4가지 시편에서는 크게 변화는 없었지만 모두 양호한 절단면이 얻어진 조건은 출력파워35(W), 주파수 15(Khz), 레이저 가공속도40(mm/s) 이었다.
- (2) 은합량 925, 950, 900, 850, 800 5가지 시편에서 레이저 절단가공시 가장 최적의 가공시간의 조건은 출력파워 50(W), 주파수10(Khz), 속도가 100(mm/s)이다.

- (3) 두께 0.8mm, 1mm, 1.2mm 3가지 시편 모두에서 가장 최적의 반복회수를 나타낸 레이저 출력은 50(W) 주파수 10(KHz) 가공속도 20(mm/s)이었다. 은합금의 시편이 두꺼워지면 레이저빔의 출력파워와 주파수가 현저하게 감소되고. 가공물이 단순한 형상 일 때는 레이저 가공속도가 저속이면 가공 반복회수는 감소하고 절단가공면은 양호해 지지만, 복잡하고 큰 형상을 갖는 가공물일수록 가공시간은 증가함을 알 수 있다.

참고 문헌

- (1) Koo, Y. H., 2001, "A Study on the CNC laser Machining Using the Contour Fitting Data of Texture Shapes", Korean institute of industrial Educators, Vol. 26, No. 2, pp. 94~95.
- (2) Kim, T. H., 1992, "Surface Modification and Processing of Metals by Laser Beam", *Bull of the Korean Inst. of met & Mater*, Vol. 5, No. 4, pp. 361~362
- (3) Tzeng, Y. F., "Pulsed Nd:YAG laser seam welding of Zinc-coated steel", *Welding Journal* 999, pp. 238~244
- (4) Anand, V. B., 1993, *Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc.
- (5) Armit, A. P., 1993, "Cure and surface Design using Multipatch and Multiobject Design Systems", *Computer-Aided Design*, Vol. 25, No 4, pp. 251~261.