

◆특집◆ 하이브리드 제조기술

레이저 복합가공기의 국내외 동향

이제훈*, 신동식*, 서정*, 조해용**, 김관우***

Trends of Laser Integrated Machine

Jae Hoon Lee*, Dong Sig Shin*, Jeong Suh*, Hae Yong Cho** and Kwan Woo Kim***

Key Words : Laser (레이저), LAM (레이저보조가공), Hardening (열처리), Ceramic (세라믹)

1. 서론

최근 레이저는 열처리, 절단, 용접, 드릴링 그리고 마킹과 같은 산업분야에서 적용되고 있다. 이는 정밀성, 공정의 유연성, 비접촉 가공 그리고 최소의 열영향부를 가지는 레이저 가공의 특징이 산업계에서 각광을 받았기 때문에 가능하였다. 또한 상기 장점은 기존의 공작기계에 접목되어 생산성을 향상시킬 수 있는 방안이 제시되고 있다.^{1,2} 이와 같이 레이저 가공기술과 기존의 기계 가공기술이 상호 융합 보완된 형태를 레이저 응용 복합가공기술이라고 한다. 레이저 이외의 복합화 추세는 이미 공작기계분야에서 적용이 되기 시작하였다. 이의 대표적 분야가 선반과 밀링머신을 결합한 공작기계로서 한번의 세팅으로 복잡한 가공물을 정밀하고 경제적으로 제작할 수 있어 복합화에 대한 효용성은 이미 산업현장에서 검증된 바 있다.^{3,5}

본 논문에서는 최근 시작된 레이저와 공작기계의 복합가공기술에 대해서 다루고 있다. 레이저 가공기술이 공작기계에 본격적으로 접목이 되려면 고출력레이저 발전기술, 광화이버 전송시스템 및

집속광학계의 설계기술 그리고 절단공구의 교환과 마찬가지로 광학계의 자동교환장치가 필수적으로 개발되어야 한다. 또한 기존의 공작기계에서는 난삭재로 분류되어 기계가공이 힘들었던 세라믹 및 고경도 금속과 같은 재료 또한 레이저 예열선삭과 같은 공정의 개발이 필수적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서는 선도기술의 현황을 파악하고 시행착오를 최소화하여 연구개발에 임해야 된다. 이에 따라 본 논문에서는 상기 기술된 레이저 복합가공기술의 현황을 파악하고 향후 진행방향에 대하여 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 레이저 복합 가공기의 필요성 및 적용분야

세계 공작기계 산업은 주로 자동차, 항공, 반도체 산업의 성장과 더불어 발전해왔다. 즉, 자동차, 반도체, 항공 산업은 고객의 요구에 의해 끊임 없이 또한 빠른 속도로 변화를 추구하므로 제품의 Life cycle 이 매우 짧아져가고 있는 실정이다. 이에 부응하여, 가공공정은 단납기 생산에 초점이 맞추어지게 되고 지금까지 단공정 작업을 벗어나 공정 집약형 가공기인 복합가공기를 개발하게 되었다.³

한편 레이저 빔을 이용한 가공이 산업전반에 걸쳐 급속히 확대되어가는 과정에서 레이저 빔이 가지고 있는 재료가공에서 우수한 특징으로 인하여 기존의 열처리, 용접, 금형의 표면가공 등에서

* 한국기계연구원 레이저공정연구팀

Tel. 042-868-7471, Fax. 042-868-7431

Email : jaholee@kimm.re.kr

레이저 가공공정연구 및 가공시스템의 지능화/자동화에 관한 연구활동을 수행

** 충북대학교 기계공학부

*** 충북대학교 대학원 정밀기계공학과

활발히 적용되고 있다. 이를 통하여 품질 및 신뢰성 그리고 생산성을 향상시키고 있다. 이는 기존의 공작기계와 레이저를 복합화하여야 할 필요성이 증대된다는 의미이기도 하다. 적용 가능한 레이저 복합 가공의 대표적인 예로서, 기존의 선반 공작기계와 레이저 빔을 복합화시킨 형태가 있으며 국부적 열처리(급냉처리 불필요), 마킹, 드릴링, 용접, 절단 그리고 그루빙 가공에 적용될 수 있다. 이는 절삭가공과 동시에 혹은 공작물이 체결된 상태에서 연속적으로 공정이 진행되어 정밀도를 향상시키고 가공시간을 단축할 수 있는 장점이 있다 (다단계공정을 한단계로 단축). 또한 절삭가공이 난해한 재질(텅스텐, 세라믹 등)의 가공시 가공부위를 레이저 빔으로 가열함으로써 절삭성(생산성) 및 정밀도를 획기적으로 개선하는 효과를 얻을 수 있다.

Fig. 1 은 레이저 공정이 기존의 절삭가공과 결합하여 이루어지는 복합가공의 예를 보여주고 있으며 레이저 전용가공분야를 포함하여 레이저가 기계가공을 보조하는 공정(supporting tool), 기존의 절단가공에 상응하는 공정(equivalent tool) 그리고 용접 및 열처리와 같이 기존의 머시닝센터에서 추가할 수 있는 공정(additional tool)으로 분류할 수 있다.^{6,7}

(1) 기계가공을 보조하는 공정(supporting tool-Assisting process): 난삭재(세라믹, 초합금, 주물)를 절삭가공할 경우 칩성파괴의 영향으로 공구가 파괴되는 현상이 발생하는데 레이저의 예열효과를 이용하면 연성이 증가하고 칩성파괴현상이 감소하며 가공효율이 증가하는 효과를 얻을 수 있다. 부

가적으로 일반강재의 절삭에 있어서 연속적으로 배출되는 칩을 절단할(Chip breaking) 필요가 있는데 레이저를 이용한다면 비접촉식으로 절단이 가능하여 효과적이다.

(2) 기계가공에 상응하는 공정(equivalent tool-equivalent process): 레이저 가공기술은 기존의 기계가공으로 가능했던 공정까지 확장되고 있는데 대표적인 분야가 레이저 케이빙, 드릴링 및 절단과 같은 분야가 있다.

(3) 기계가공에 추가적으로 적용 가능한 공정(additional tool-enlargement of available technology): 용접 및 열처리 공정은 절삭공정 후 연속적으로 적용이 가능하며 한번의 체결로서 가공이 가능하기 때문에 경제적 효과가 뛰어나고 정밀도도 향상시킬 수 있는 장점이 있다.

2.2 레이저 복합가공기의 해외 개발동향

레이저 복합가공기를 개발하기 위해서는 공정 기술, 시스템 통합기술 및 광제어기술 관련 연구가 필요하다. 이에 대한 대표적인 연구기관으로서 독일의 Stuttgart 대학 레이저 연구소(IFSWS)가 있으며 선반기반 레이저 복합가공기를 이용하여 레이저 열처리, 클래딩, 용접, 및 디버링 등과 같은 가공공정에 대한 연구를 하고 있고 레이저 복합가공기 전용 가공헤드의 설계 및 제작에 앞선 기술을 보유하고 있다. 특히 독일의 IFSWS 에서 설계/제작한 레이저 복합가공기의 가공헤드로서 기존의 공구 교환방법과 호환성을 가질 수 있게 설계되었다. 레이저 빔을 이송시키는 방법으로서 가공 헤드의 측면으로 광 화이버를 접목시키는 방법과 주축

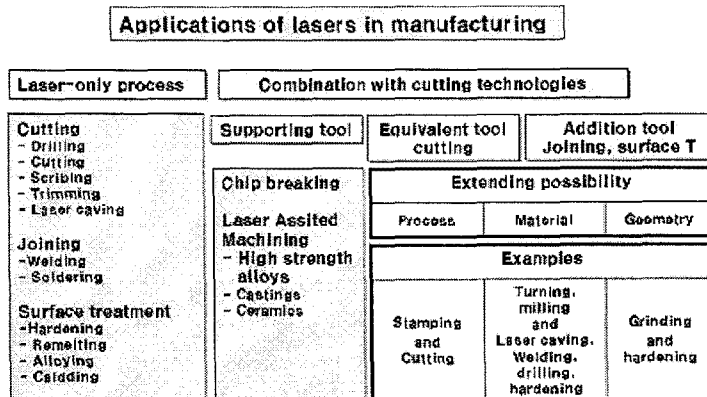


Fig. 1 Classification of laser process in terms of the idea of integrated manufacturing

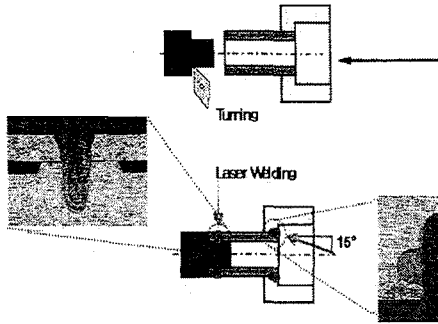


Fig. 2 Laser welding after turning (IFSW)

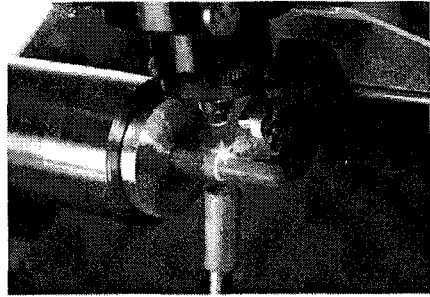


Fig. 5 Laser assisted machining of ceramic (Purdue Univ.)

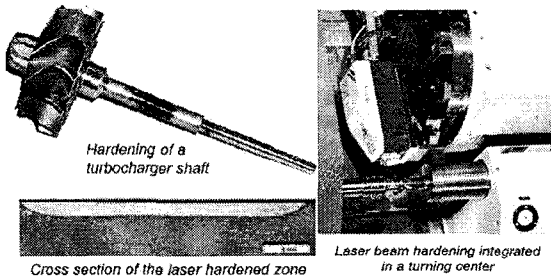


Fig. 3 Laser hardening of turbocharger shaft (Fraunhofer USA)

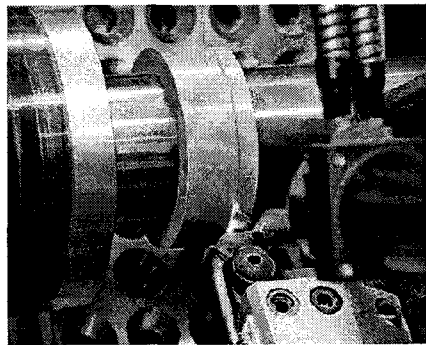


Fig. 6 Laser assisted machining of ceramic (IPT)

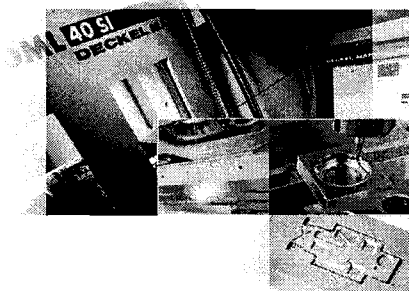


Fig. 4 Laser ablation and endmilling of mold (Deckel Maho)

과 동일한 방향으로 빔을 이송시키는 방법에 대한 연구를 수행하였다.

또한 이를 이용한 공정개발로서 최근 독일 IFSW, 독일 IPT(Institut Produktionstechnologie), 미국 Fraunhofer USA 그리고 IWS(Institut Werkstoff-und Strahltechnik)에서 예열효과 및 열처리공정에 대한 연구결과가 발표되고 있으며^{8,10} 미국 Purdue 대학의 신영철 교수팀은 CO₂ 레이저와 선반의 복합화에 대한 연구가 활발히 진행되기 시작하였다.¹¹⁻¹⁸

Fig. 2-6 은 상기 설명된 레이저 복합가공을 다

양한 연구기관에서 적용한 예를 보여주고 있다. 특히, 세라믹재료의 가공은 일반 절삭공구로서 가공이 불가능하고 공업용 다이아몬드 휠을 이용하여 미소량으로 연삭가공해야 하는 단점을 보유하고 있는데 레이저의 예열효과를 겸비한 절삭공정은 가공의 효율성이 뛰어나 적용성이 뛰어날 것으로 판단된다. 이와 같은 레이저 예열선삭은 고온 특성 및 열효율특성이 뛰어나며 경량화가 용이하나 가공을 위한 가격 경쟁력이 낮은 세라믹 브레이크 디스크 및 엔진 부품의 제작에 접목할 수 있는 대표적 기술로서 분류될 수 있다(<Fig. 7>, <Fig. 8> 참조)

2.3 국내의 레이저복합가공기 개발현황

국내의 레이저 복합가공시스템 및 공정에 관한 연구는 현재 한국기계연구원에서 수행하고 있으며 세라믹 예열선삭 및 강재의 열처리 작업을 수행할 수 있는 레이저 복합가공기를 개발하고 있다. 핵심기술로서 레이저 복합가공기용 빔 이송장치, 레이저 가공 핵심 모듈 등의 시스템기술과 세라믹 예열선삭 및 레이저 열처리 등의 이중 복

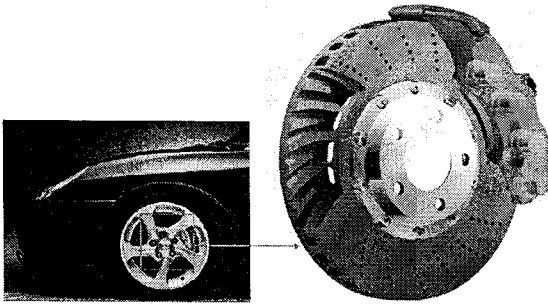


Fig. 7 Ceramic brake disk in a vehicle

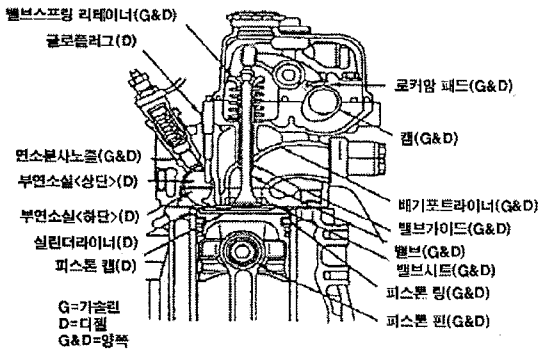
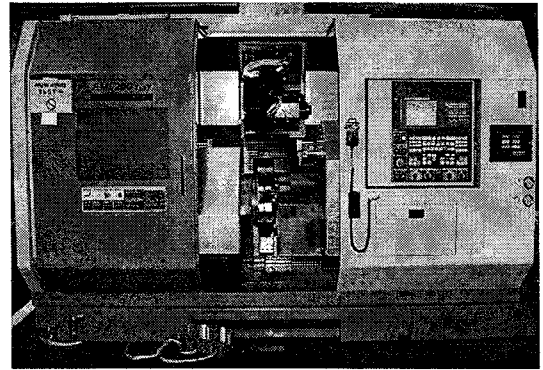


Fig. 8 Ceramic parts of engine in the future

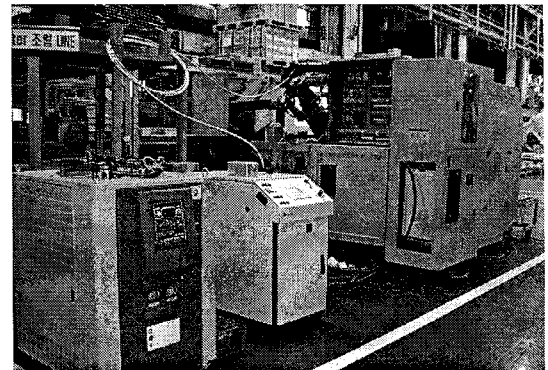
합 공정 기술이 있다.

Fig. 9 는 한국기계연구원에서 현재 개발 중인 레이저 복합가공 시스템으로서 아메코(주)와 공동 개발중인 장비이다. 본 광학모듈의 구성방식은 리볼버식으로서 착탈의 공정이 필요가 없기 때문에 기존의 빔이송헤드에서 발생이 가능한 문제점인 레이저 빔 이송용 광화이버의 혼선 및 착탈시 충격력에 의한 광학계 손상 등을 제거할 수 있는 장점이 있다. 한편 본 장치에 적용되는 레이저는 HPDL(High Power Diode Laser: Laserline)로서 광화이버로 레이저의 전송이 가능하고 에너지효율이 뛰어나 전력대비 레이저출력이 뛰어난 장점이 있어 CNC 시스템에 적용이 용이한 특징이 있다. 또한 본 레이저 복합가공 시스템의 광학모듈은 한국기계연구원에서 특허출원 및 등록을 마쳤으며¹⁹⁻²² 향후 기술선점을 통해서 시장을 보호할 수 있을 것으로 판단된다.

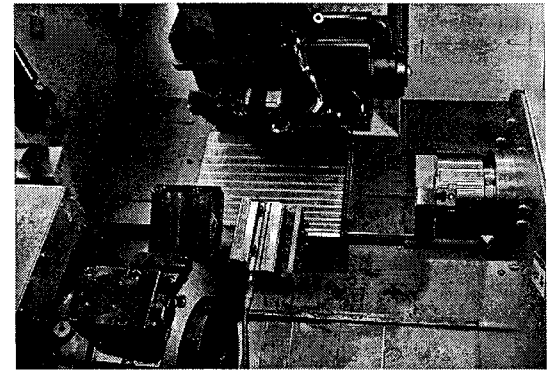
2.4 레이저복합가공기를 이용한 공정개발



(a)



(b)



(c)

Fig. 9 Laser integrated CNC for hybrid machining

상기 복합가공기는 현재 시제품 단계로서 다양한 공정실험을 통하여 문제점을 개선하고 보완하여 상품화를 진행하고자 하고 있다. 대표적인 공정실험으로서는 레이저 열처리와 세라믹의 예열 선삭이 있으며 본 공정은 시뮬레이션을 통한 예측과 실험으로 나뉘어 진행하였다.

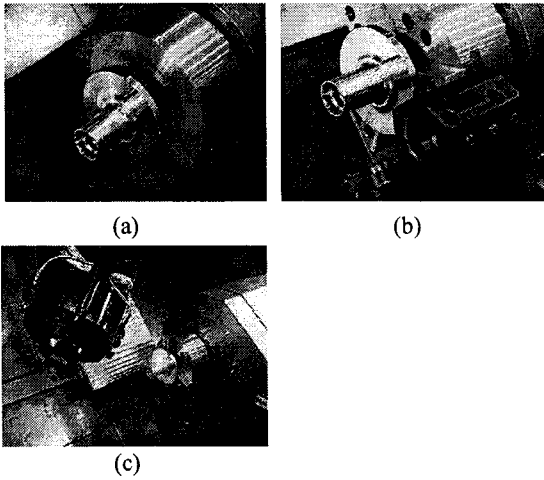


Fig. 10 Laser heat treatment process for hub: (a) turning, (b) drilling and (c) heat treatment

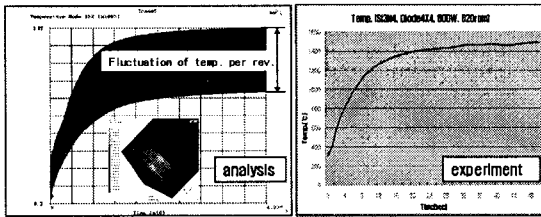


Fig. 11 Simulated results for laser assisted machining of silicon nitride

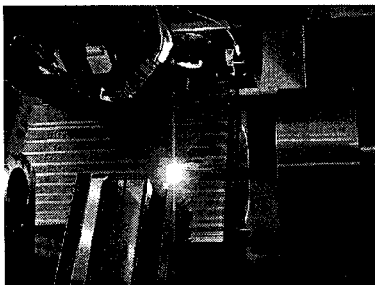


Fig. 12 Laser assisted machining process for silicon nitride

Fig. 10 은 자동차용 브레이크의 부품인 허브의 공정으로서 형상가공, 드릴링 및 열처리를 한번의 척킹상태에서 수행할 수 있는 장점을 보여주고 있다. 본 공정은 기존의 다단계공정을 대체할 수 있는 One-Chucking 공정으로서 인건비, 가공시간 및 가공정밀도 등을 개선할 수 있을 것으로 기대되고

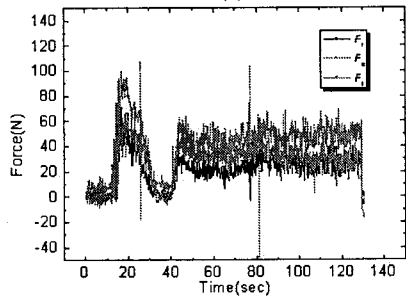
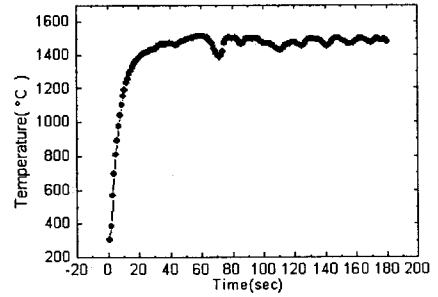


Fig. 13 Graphs for measured temperature and cutting forces on LAM process of silicon nitride under condition of 600 W (laser power), 620 rpm, 0.013 mm/rev, 0.3 mm (DOC)

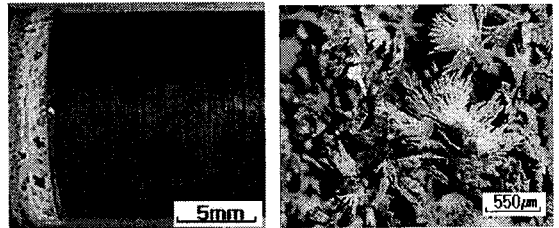


Fig. 14 Machined silicon nitride using LAM process: (a) surface and (b) semi-continuous chips under the condition of 600 W (laser power), 620 rpm, 0.013 mm/rev, 0.3 mm (DOC)

있다.

Fig. 11 은 레이저 예열 시 시간에 따른 질화규소의 표면 온도변화 시뮬레이션 결과를 동일조건 실험과 비교하여 나타난 것이다. 열해석을 통해 취성파괴(brittle fracture) 영역을 벗어나 소성변형(plastic deformation)을 일으킬 수 있는 온도인 1350°C 이상을 유도하기 위한 적정조건을 제시할 수 있다.

시뮬레이션을 통해 제시된 조건은 질화규소의 예열선삭공정에 적용을 하였으며 (Fig. 12 참조) Fig. 13 에서 볼 수 있는 바와 같이 1400℃영역에서 약 40N 의 힘으로 절삭이 이루어 졌다. 일반적으로 세라믹 절삭시 예열이 없이 공구의 절입한다면 400N 이상의 절삭력과 채터링이 발생한다는 점으로 보아 본 실험조건에서는 예열에 의해 질화규소가 연화되었다는 것을 알 수 있다.

이로 인하여 Fig. 14 에서 볼 수 있는 바와 같이 취성파괴 없이 질화규소를 절삭 할 수 있었는데 특히 Fig. 13(b)에서 볼 수 있는 바와 같은 유동형 칩의 생성은 고경도의 세라믹이 레이저 예열을 통하여 연화가 된다는 것을 증명해 주고 있으며 나아가 레이저 예열선삭(LAM)의 가능성을 보여주는 단적인 예라고 할 수 있다.

3. 결론

공작기계의 차세대 시장은 복합 가공화로 예측되고 있으며 일부에서는 이미 진행되고 있다. 이러한 복합화 추세는 최근의 시장 환경 변화에 따라 더욱 더 다양하게 진행될 전망이다. 기존의 기계 가공작업에서 생산성이 한계에 도달함에 따라 조립 부품수를 줄이기 위한 노력이 진행되었다. 역으로 일반 소비자의 기호가 다양해짐에 따라 단위 부품의 형상은 더욱 복잡해지고 이를 위한 소량 생산시스템이 개발되기 시작하였다. 그러나 시스템의 상용화는 아직 시작단계에 불과하므로 집중한 연구개발을 통하여 레이저 복합가공기를 국산화하면 세계시장에서의 국제 경쟁력을 충분히 확보할 수 있다고 판단된다. 이에 대비하여 한국기계연구원은 복합가공시스템의 제작에 관한 연구를 진행하고 있으며 레이저와 머시닝센터가 결합된 레이저복합가공기의 설계 및 제작기술을 개발하고 있다.

이와 같은 레이저와 기계가공을 이용한 복합 가공기술은 난삭재 가공 기술의 전문 인력을 양성하고, 자동차, 반도체, 전기 절연재, 조선, 정밀기계 등 주요 산업분야의 기술 발전을 가져 올 수 있을 것이며, 제품의 품질 및 신뢰성을 높이는 핵심 기술로 자리잡을 것이다. 이러한 복합 가공 기술은 레이저 시장 뿐 아니라 공작기계 시장을 활성화 시킬 수 있을 것이고, 기존의 가공방법으로 불가능 하였던 난삭재의 가공을 가능하게 함으로

서 재료선정의 폭을 크게 확대시킬 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 지역산업기술 개발사업인 “레이저 복합가공기 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kim, T. H., “Laser Processing,” Kyoung Moon Sa, 2005.
2. Park, S. D., “Laser Manufacturing,” Dae Kwang, 1998.
3. <http://www.komma.org/Document/Magazine/MT200306/page400.htm>
4. “Future and Emerging Technology (2000-2025),” KISTEP, 1999.
5. Miyazaki, T., “Trends of Laser Processing,” Automation Systems, pp. 49-81, 2004.
6. Huegel, H., Wiedmaier, M. and Rudlaff, T., “Laser processing integrated into machine tools-design, applications, economy,” Optical and Quantum Electronics, Vol. 27, No. 12, pp. 1149-1164, 1995.
7. Krastel, K. and Drechsel, J., “Integration of laser processing in machine tools and their economy,” SPIE, Vol. 3613, pp. 65-74, 1999.
8. <http://www.ipt.fraunhofer.de>
9. <http://www.fraunhofer.org>
10. <http://www.iws.fraunhofer.de>
11. <http://widget.ecn.purdue.edu/~lampl>
12. Pfefferkorn, F. E., Shin, Y. C. and Tian, Y., “Laser-Assisted Machining of Magnesia-Partially-Stabilized Zirconia,” Transactions of the ASME, Vol. 126, No. 1, pp. 42-51, 2004.
13. Barnes, S., Morgan, R. and Skeen, A., “Effect of Laser Pre-Treatment on the Machining Performance of Aluminum/SiC MMC,” Transactions of the ASME, Vol. 125, No. 4, pp. 378-384, 2004.
14. Rebro, P. A., Shin, Y. C. and Incropera, F. P., “Design of operating conditions for crackfree laser-assisted machining of mullite,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 44, No. 7, pp. 677-694, 2004.
15. Armitage, K., Masood, S. and Brandt, M., “Laser Assisted Machining of Hard-to-Wear Materials,”

- “Magnesia- Partially-Stabilized Zirconia,” Transactions of the ASME, Vol. 126, No. 1, pp. 42-51, 2004.
16. Lei, S., Shin, Y. C. and Incropera F. P., “Deformation mechanisms and constitutive modeling for silicon nitride undergoing laser-assisted machining,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 40, No. 15, pp. 2213-2233, 2000.
 17. Zhang, C. and Shin, Y. C., “A novel laser- assisted truing and dressing technique for vitrified CBN wheels,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, No. 7, pp. 825-835, 2000.
 18. Zhang, C. and Shin, Y. C., “Wear of diamond dresser in laser assisted truing and dressing of vitrified CBN wheels,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, No. 1, pp. 41-49, 2003.
 19. Lee, J. H., Suh, J. and Shin, D. S., “Apparatus for Laser Processing for Machine Tool,” Korea Patent No. 0597906, 2006.
 20. Lee, J. H., Suh, J. and Shin, D. S., “Apparatus for Processing using Laser-Beam,” Korea Patent No. 0704225, 2007.
 21. Lee, J. H., Suh, J. and Shin, D. S., “Method and Apparatus for Processing Object Using Laser,” Korea Patent No. 0597907, 2006.