

초소형 PCD 공구 제작을 위한 확산접합부의 형상에 따른 인장강도 특성

정바위*, 김옥수**, 정우섭***, 박정우**.#

*조선대학교 첨단부품소재공학과, **조선대학교 기계시스템공학과, *** (주)테크맥

Tensile Strength Properties of the Diffusion Bonding Copula Shape for Micro PCD Tool Fabrication

Ba Wi Jeong*, Uk Su Kim**, Woo Seop Chung***, Jeong Woo Park**.#

*Department of Advanced Parts and Materials Engineering, Chosun UNIV., **Department of
Mechanical System Engineering, Chosun UNIV., ***Techmac Co., Ltd.

(Received 31 October 2014; received in revised form 26 January 2015; accepted 25 March 2015)

ABSTRACT

This study involved the fabrication of precision machine tools using a polycrystalline diamond tip [sintered PCD and cemented carbide (WC-Co) tip] and WC-Co shanks via diffusion bonding with a paste-type nickel alloy filler metal. Diffusion bonding is a process whereby two materials are pressed together at high temperature and high pressure for a sufficient period of time to allow significant atomic diffusion to occur. For smooth progress, a filler metal of nickel alloy was used at the interface. Optical microscopy images were used to observe the copula of the bonded layer. It was confirmed that cracks occurred near the junction in all cases. The tensile strength of the bond was measured using a universal testing machine (UTM) with WC-Co proportional test specimens.

Key Words : Diffusion Bonding(확산접합), Tensile Strength(인장강도), Copula(접합부), Cemented carbide(초경합금), PCD Drill(PCD 드릴)

1. 서 론

현재 여러 산업 분야에서 제품에 대한 개발 방향이 변화되고 있으며, 동시에 첨단 기술의 발달은 불필요하게 되었다. 그 중에서 경량화 및 소형화가

주된 개발 사항으로, 경량화는 탄소강화섬유플라스틱(carbon reinforced fiber plastic, CFRP) 등 난삭성 재료에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 소형화된 제품에 대한 소형 부품을 효율적으로 생산하기 위한 개발도 진행되고 있다. 따라서 현재 많은 기업에서는 난삭재 및 정밀 가공용 공구가 요구되고 있다. 최근 CFRP와 같은 난삭재는 거의 유

Corresponding Author : jwoopark@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7277, Fax: +82-62-230-7277

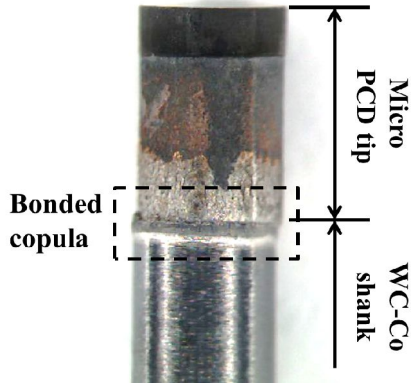


Fig. 1 Diffusion bonded micro PCD drill blank for micro PCD drill fabrication

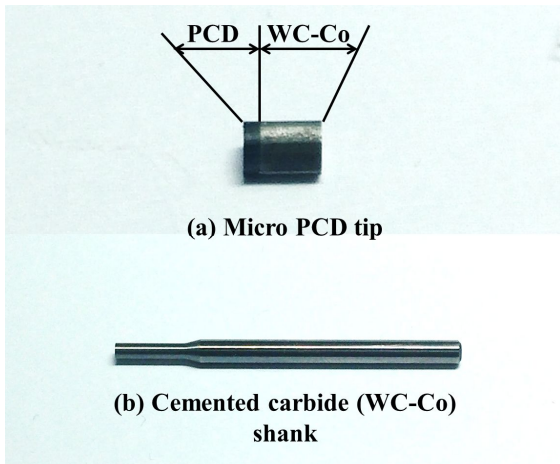


Fig. 2 Workpieces used on diffusion bonding for micro PCD drill blank fabrication

일하게 다결정 다이아몬드 (polycrystalline diamond, PCD) 드릴이나 PCD 코팅 드릴을 사용하고 있다^[1-4]. PCD는 다이아몬드 입자와 코발트 바인더를 고온, 압착하는 방식으로 소결하여 제작된다. 그 특성은 다이아몬드와 비슷한 강도를 지니고 있으며, 고속 절삭 및 비철 금속의 정밀 완성 가공에 사용한다. 열팽창계수가 적고 열전도율이 크다는 장점이 있기 때문에 유리 소재 등 기계 부품 가공 이외에도 다

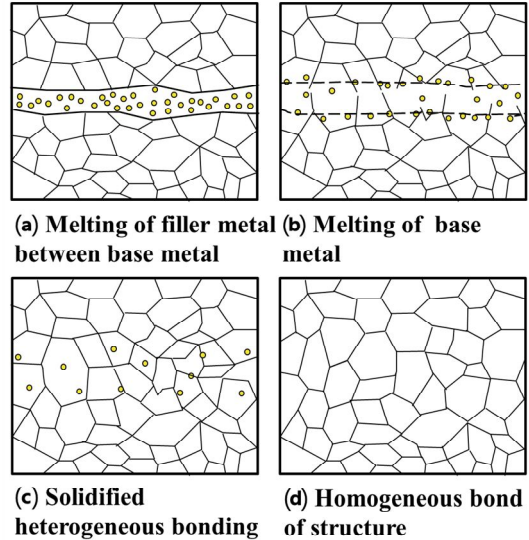


Fig. 3 Diffusion bonding process mechanism with two base metals and filler metal

양한 분야에서 절삭 공구로 많이 사용되고 있다. 전도성이 있기 때문에 방전가공을 통해 원하는 공구 형상을 만들 수 있는 장점이 있다^[4]. 이와 같은 특성을 가지는 PCD를 이용하여 초경합금과 함께 복합소재 공구로 가공된 것이 PCD드릴이다. 본 연구는 Fig. 1과 같은 초소형 PCD 드릴 공구를 제작하기 위한 블랭크를 개발하고자 Fig. 2와 같이 두 재료를 확산접합 하였다. Fig. 2는 공정 전 초소형 PCD 팁과 초경합금 생크 (cemented carbide shank)이다. 이 초소형 PCD 드릴 공구 블랭크의 성능 평가를 위해 초경합금 비례 시험편 (proportional specimen)을 이용하여 접합부의 형상에 따른 확산접합 특성을 고찰하였다.

2. 확산접합 이론

확산접합이란 접합하고자 하는 두 금속 사이에 삽입금속 (filler metal)을 위치시킨 후 용점 이하의 온도로 가열하여 소성변형을 일으키지 않을 정도의 압력을 가해 두 금속을 결합시키는 공정이다. Fig. 3은 본 실험에서 사용된 확산접합의 메커니즘을 나

타낸 것이다. Fig 3 에서 알 수 있듯이 접합과정은 4단계 (a) 삽입금속의 삽입 및 용융과정, (b) 삽입금속에 의한 모재의 용융과정, (c) 액상의 소멸 및 비균질화, (d) 금속 조직의 균질화를 거치게 된다. 대부분 모든 과정에서 등온응고가 진행되기 때문에 추후에 기존의 접합온도로 재가열하여도 재용융하지 않는 특징이 있다. 확산접합의 특징은 소재의 크기, 형상에 상관없이 접합이 가능하며 조건을 달리할 경우에 동종이외에도 이종금속에도 접합이 가능하다. 그리고 재료의 형상에 거의 영향을 주지 않는다는 점이다^[5-8].

3. 실험 방법

본 실험은 Fig 1과 같이 확산접합 공정을 통해 제작된 초소형 PCD 드릴 공구 블랭크는 소형화 부품 가공을 위한 공구로써 그 성능에 대한 평가를 하고자 한다. 접합부 형상에 따른 인장강도의 시험 평가를 위해 초경합금은 Fig. 4와 같이 접합부를 췌기형과 1mm 톱니형으로 제작했다. 췌기형 시험편의 중심각은 60°, 90°, 120°이다. 그에 따라 확산접합에 필요한 흑연 지그를 제작했다. Fig. 5는 접합 공정의 개략도이다. 개략 도에 따라 초경합금과 삽입금속은 일정 시간 동안 고온과 고압의 환경에 노출되게 된다. 본 실험에서 사용된 초경합금과 삽입금속의 물성치는 Table 1과 같다. 삽입금속의 역할은 포함하고 있는 용점 저하원소를 통해 모재인 초경합금의 용융점을 낮춰, 용융점 보다 낮은 온도에서 접합 표면을 용융시킨다. 그리고 접합 표면의 산화막 제거 및 접합 공정이 종료된 후 기계적 성질을 향상시키는 역할을 하게 된다. 본 실험에서는 니켈이 주성분으로 이루어진 합금 분말이 포함된 반죽형의 삽입금속을 사용하였다. 반죽형 삽입금속을 사용하게 된 이유는 판형의 경우에 접합면의 형태로 가공하기가 어렵고, 하중 분포가 고르지 않더라도 모든 면에서 확산 반응이 일어날 것으로 판단하였기 때문이다. 비례시험편과 삽입금속을 흑연 지그에 조립한 후 Fig. 6과 같은 진공열처리로 예장입하였다. 그리고 Table 2의 접합 공정 조건에

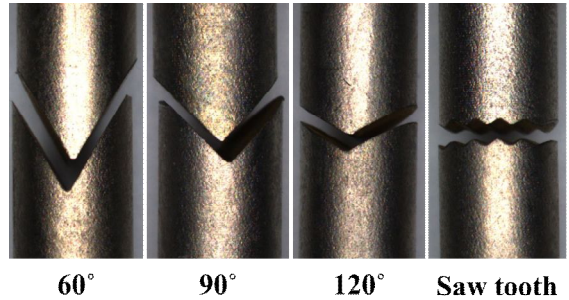


Fig. 4 Proportional specimen of various copula shapes on the cemented carbide

Table 1 Chemical composition of the cemented carbide and nickel filler metal (wt %)

	W	Co	Ni	Cr	Si	B	Fe
Cemented carbide	90	10					
Filler metal			83.0	7.0	4.5	2.8	3.0

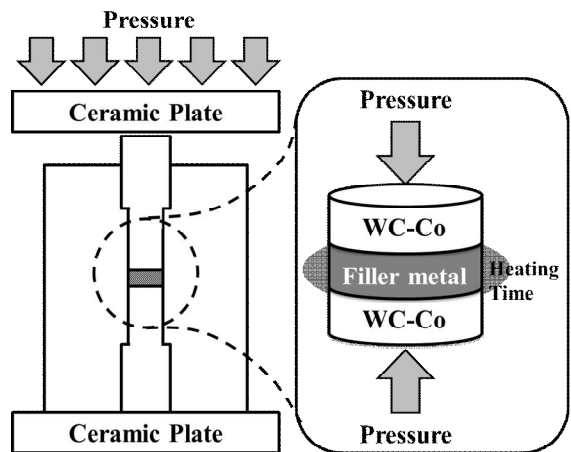


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental set-up for diffusion bonding of various proportional specimens

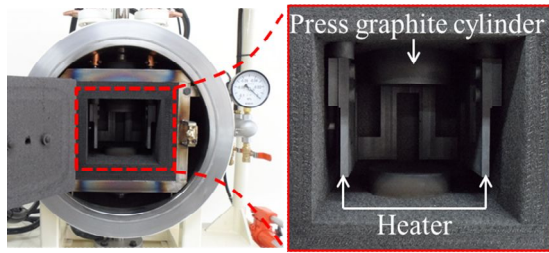


Fig. 6 Equipment used to diffusion bonding process, vacuum hot press furnace(ACE VACUUM Co.)

Table 2 Diffusion bonding conditions and bonding copula surface areas

Temperature	Pressure	Time	Vacuum
1170 °C	2.2 MPa	4 hr	4×10^{-5} Torr
(A) 60°	(B) 90°	(C) 120°	(D) Sawtooth
39.3 mm ²	27.5 mm ²	22.8 mm ²	32.9 mm ²

따라 접합을 진행하였다. 확산 접합된 비례시험편을 광학현미경(Olympus SZ61)과 만능시험기(UTM: Shimadzu AG-IS, 50 kN)를 이용하여 접합부의 상태 및 인장강도를 측정하여 각 접합부 형상에 따른 확산접합 특성을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 Table 2의 확산접합 조건에 따라 진행된 초경합금 비례시험편의 접합부 형상을 광학현미경으로 접합부 측면을 측정한 결과이다. 여기서 접합부 주변에서 삼입금속에 의한 반응이 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이것은 반죽형 삼입금속의 특성상 낮은 압력에도 퍼짐 현상이 발생하기 때문이다. 조건 (A)의 결과에서 접합부 경계면은 뚜렷하게 확인된다. 그리고 췌기형의 접합 끝단부에 미세한 균열이 있었지만, 원 형상은 유지 되었

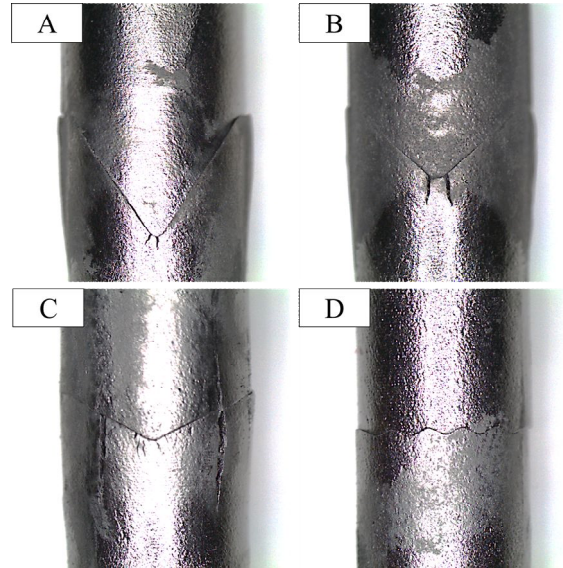


Fig. 7 Optical microscope images of the bonded copula for various bonding conditions : (A) 60°, (B) 90°, (C) 120°, (D) saw tooth

다. 그러나 측정된 결과를 보면 전체적인 압력이 고르게 분포된 것으로는 판단하기에 어려워 보인다. 조건 (B)의 결과에서는 모든 경계면에서 조건 (A)보다 원활한 반응이 나타난 것으로 보인다. 그러나 췌기형의 접합 끝단 부근에서 조건 (A)보다 큰 균열이 발생하였다. 이것은 중앙부로부터 힘이 집중된 것으로 보인다. 조건 (C)의 결과에서는 다른 조건들과 비슷한 경계면이 나타났고 접합부의 꼭짓점 부근에 균열이 나타나지 않았다. 그러나 중심으로부터 약 2.5mm의 위치에 큰 균열이 발생하였다. 이것은 다른 췌기형 조건과 달리 접합면의 중심부보다 측면을 통해 압력이 전달된 것으로 추측된다. 조건 (D)의 경우, 췌기형의 조건 (A), (B) 그리고 (C)의 결과보다 접합부 부근에 삼입금속의 반응이 적고, 접합 형상에서 확산접합이 고르게 진행된 것으로 판단된다. 톱니형은 췌기의 깊이가 크지 않기 때문에 압력의 집중이 적어 균열이 발생하지 않은 것으로 추측된다. 광학 현미경으로 측정된 결과에서 췌기형의 접합부 압력이 집중되는 경향이 심하기 때문에 톱

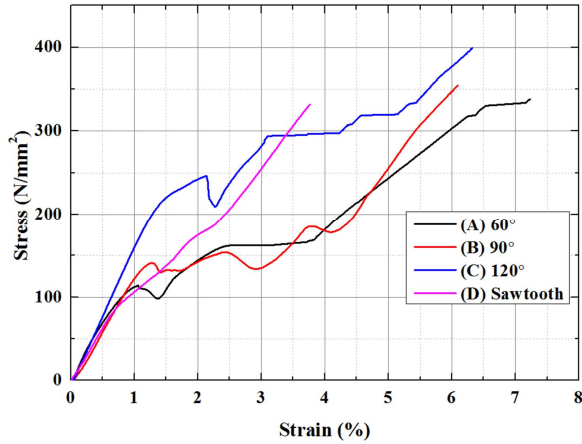


Fig. 8 Stress-strain diagram of the tensile strength by various bonding conditions

Table 3 Results of tensile strength test on the diffusion bonded proportional specimen

Shapes	Stress	Strain
(A) 60°	338.0 N/mm ²	7 %
(B) 90°	354.5 N/mm ²	6 %
(C) 120°	399.2 N/mm ²	6 %
(D) Saw tooth	331.7 N/mm ²	4 %

니형에 비해 균열의 발생이 쉽다는 것을 알 수 있었다. Fig. 8 과 Table 3 은 접합부 형상에 따른 초경합금 비례시험편을 만능시험기로 인장강도 시험한 결과를 나타내었다. 조건 (A) 는 338.0 N/mm², 조건 (B) 는 354.5 N/mm², 조건 (C) 는 399.2 N/mm², 조건 (D) 는 331.7 N/mm² 의 인장응력이 도출되었다. 전체적으로 우수한 인장응력이 도출된 것을 확인할 수 있다. 이 결과는 접합부 표면적이 가장 넓은 조건이었던 (A) 조건이 가장 인장 응력이 높을 것이라는 추측과 달리 가장 표면적이 작았던 조건 (C) 에서 매우 우수한 인장응력이 도출된 것을 확인할 수 있었다. 이는 크지 않은 접합부 면적 차이에서 조건 (C) 와 같이 표

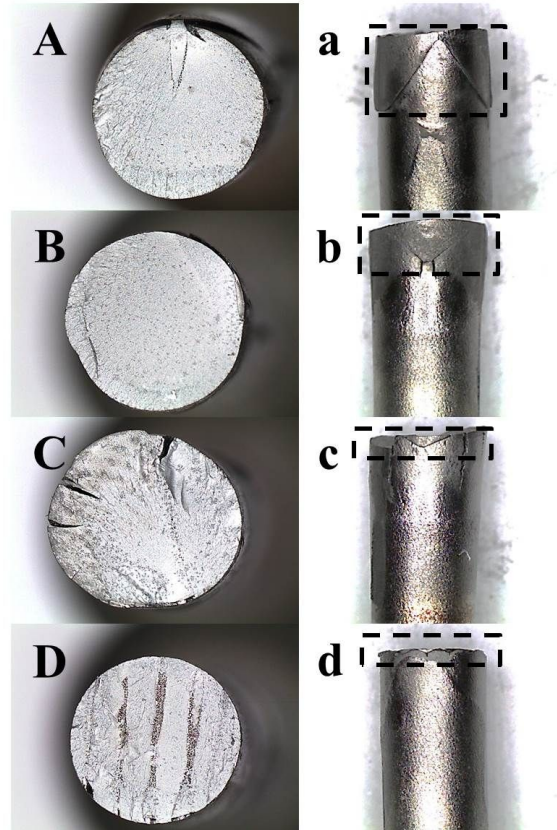


Fig. 9 Optical microscope images of the tensile fracture surface for various bonding conditions : (A - D) front surface, (a - d) flank surface

면적이 작지만, 접합부 표면에 접합 압력이 고르게 분포된 것이 확산접합 공정에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 톱니형의 경우는 광학 현미경 측정 결과에서 원활한 확산접합 결과가 나타났으나 인장응력은 다소 낮게 나타났는데, 이것은 1mm의 톱니형상의 췌기 부분을 위주로 압력이 집중된 것으로 판단된다. 모든 조건에서 연신율은 4~7 % 라는 낮은 수치가 측정되었다.

Fig. 9 는 초경합금 비례시험편의 파단면을 광학현미경으로 측정한 것이다. 파단결과, 췌기 및 톱니형의 확산접합 전 형상과 비교하면, 비록 거친 표면이지만 평평한 형상이 나타났다. 시험 결

과 초경합금 모재의 인장응력보다 접합부의 인장 응력이 더 높다는 것을 알 수 있으며 썰기 및 톱니형의 측면부, 즉 경사면 위치에서도 확산접합 공정이 진행되었다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 외부의 큰 균열은 내부의 깊은 부분까지 영향을 준다는 것도 확인하였다.

4. 결 론

본 연구는 동일한 확산 접합 공정 조건에서 다양한 중심각의 썰기형 비례시험편과 톱니형 비례 시험편을 확산 접합하여, 그 결과를 바탕으로 접합부 형상에 따른 접합 특성을 광학현미경 및 만능시험기를 이용하여 분석하였다. 접합부 상태 측정시 모든 조건에서는 원활할 확산접합 결과가 나타났고, 경우에 따라서 균열이 확인되었다. 실험에서 사용된 반죽형의 삽입금속은 퍼짐현상 등의 부정적인 영향으로 균열이 발생한 것으로 보인다. 결론적으로 모든 형상 조건에서 초경합금의 원 소재보다 우수한 인장강도가 도출되었으며, 미소한 접합 표면적의 차이, 즉 비슷한 접합 표면 조건에서는 모든 접합 면적에 대하여 일정하게 가압해야만 우수한 접합 품질을 얻을 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업인 “마이크로 방전 기반 하이브리드 다축 가공 시스템 기술 개발”의 지원으로 수행되었습니다.”

REFERENCES

1. Karpat, Y., Bahtiyar, O., Deger, B., and Kafanoglu, B., “A mechanistic approach to investigate drilling of UD-CFRP laminate with PCD drills“, CIR Annals-Manufacturing, Vol. 63, pp. 81-84, 2014.
2. Jinyang Xu, Qinglong An and Ming Chen, "A comparative evaluation of polycrystalline diamond drills in drilling high-strength T800S/250F CFRP" Composit Structure, Vol. 117, pp. 71-82, 2014.
3. Kwon D. J., Wang Z. J., Gu G. Y. and Park J. M., "Comparison of Optimum Drilling Conditions of Aircraft CFRP Composites using CVD Diamond and PCD drills, J. KSCM, Vol. 24, No. 4, pp. 23-28, 2011.
4. Pei LumTso and Yan-Gang Liu, "Study on PCD machining", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, pp. 331-336, 2002
5. Jeong B. W. and Park J. W., "Transient liquid phase diffusion bonding for micor PCD tool fabrication", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol. 27, pp. 3005-3010, 2013.
6. Jeong B. W. and Park J. W., "Temperature dependency of diffusion bonding for micro WC-PCD tool fabrication", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 22, No. 5, pp. 812-817, 2013.
7. Jose Lemus-Ruiz, Leonel Ceja-Cardenas, J. A. Verduzco and Osvaldo Flores, "Joining of tungsten carbide to nickel by direct diffusion bonding and using a Cu-Zn alloy", Journal of Materials Science, Vol. 43, pp. 6296~6300, 2008.
8. Kang C. Y., "On the transient liquid phase diffusion bonding," *Journal of the Kreaan Welding Society*, Vol. 7, No. 2, pp. 12~24, 1989.