

MLCC 절단용 초경합금 칼날의 나노표면 가공 기술

강병욱*, 신건휘**, 곽태수*.#

*국립경남과학기술대학교 기계공학과, **한국기초과학지원연구원 연구장비개발본부

Nano-surface Machining Technology of Tungsten Carbide Blade for MLCC Cutting Process

Byung-Ook Kang*, Gun-hwi Shin**, Tae-Soo Kwak*.#

*Dept. of Mechanical Engineering, Gyeongnam National Univ. of Sci. and Tech.

**Division of Scientific Instrumentation, Korea Basic Science Institute

(Received 16 September 2019; received in revised form 24 September 2019; accepted 30 September 2019)

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine and propose a high quality blade manufacturing method by applying ELID grinding technology to machining the tungsten carbide blade edge for MLCC sheet cutting. In this study, experiments are performed according to the abrasive type of grinding wheel, grinding method and grinding direction using the non-stop continuous dressing ELID grinding technology. By comparing and analyzing the chipping phenomena and surface roughness of both the blade grinding surface and the processed surface, a method for machining the tungsten carbide blade for cutting MLCC sheet is proposed. From the analysis of the surface roughness and chipping phenomena, it is confirmed that the use of diamond abrasive is advantageous for the blade machining. In addition, it succeeds in the machining of 6 μ m fine blade without any chipping, by using the grinding wheel #4000 with the diamond abrasive.

Key Words : MLCC(적층 세라믹 콘덴서), Tungsten Carbide(초경합금), ELID Grinding(ELID 연삭), Blade Machining(날세움 가공), Nano-surface(나노표면)

1. 서 론

MLCC(Multi Layer Ceramic Condenser)는 스마트폰을 비롯하여 다양한 전자 제품에 사용되고 있으며, 웨어러블 기기와 자동차 및 우주항공 분야에 이르기까지 점차 그 사용 범위가 증가하고 있다. 스마트폰의 경우 초기 모델에는 약 200 ~

300개의 MLCC가 탑재되었지만 최신 스마트폰의 경우 1,000개 이상의 MLCC가 탑재되어 있다. MLCC는 전자제품의 회로에 세라믹과 금속(니켈)판을 여러 겹으로 적층하여 만드는 전자 부품이다. MLCC는 대표적인 ‘수동 부품’으로 분류되며, 반도체와 같은 ‘능동 부품’ 주변에서 전기를 저장했다가 일정량씩 공급하는 댐과 같은 역할을 하며, 각 부품 간에 발생하는 간섭 현상을 막아준다. MLCC의 제작 공정은 인쇄, 1차 절단, 적층, 2차 절단의 순서로 제작된다. MLCC시트

Corresponding Author : tskwak@gntech.ac.kr

Tel: +82-55-751-3317, Fax: +82-55-751-3319

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

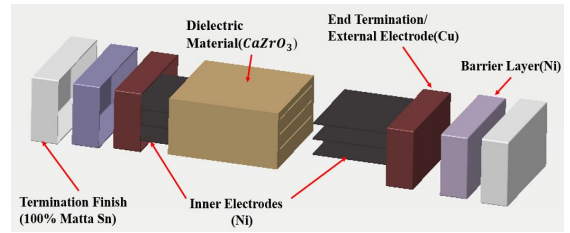
절단용 칼날의 치핑은 칼날의 수명 단축을 야기하고, 칼날 부 측면의 표면 거칠기는 MLCC시트 절단 중 세라믹 부의 손상이나 시트에 인쇄된 회로의 손상에 관여하여 MLCC의 성능에 직접적인 영향을 미친다. Fig. 1은 MLCC의 구조와 제작 공정을 나타낸다. 산업, 의료용 칼날의 소재로 사용되고 있는 나노 텅스텐 카바이드(WC)는 기존의 초경합금에 비해 높은 경도와 강도를 가지는 우수한 기계적 특성을 가지고 있다. 나노 WC는 기존의 입도 #1,000 전후의 휠을 사용하여 가공하면 연마제의 입자보다 텅스텐 카바이드의 입자가 수십 배나 커서 연삭 저항에 의해 칼날의 치핑이 발생하므로 가공이 어렵다. 나노 WC를 함유하고 있는 초경합금 소재의 칼날 가공을 위해서는 작은 연마 입자의 슷돌과 원활한 드레싱으로 가공 중 부하에 의한 초경합금 칼날의 손상 없는 칼날 가공 기술이 요구된다. 일반적으로 레진 결합제를 사용한 슷돌은 연마 후 발생하는 칩에 의해 결합제가 빠르게 마모하여 연마 슷돌의 수명이 짧아지고, 비트리파이드 결합제는 윤활성과 내마모성으로 인하여 다이아몬드의 돌출이 용이하지 못하므로 마찰에 의한 연삭 부하의 증가로 치핑을 일으키기 쉽다. 주철 결합제 슷돌을 사용하는 ELID연삭 가공 기술은 결합제의 결합력이 높아 슷돌의 수명을 증가시키고 동시에 전해방식의 지속적인 드레싱 효과로 연마 입자의 돌출이 뚜렷하게 할 수 있으므로 연삭저항 저감 효과로 인해 미세 연삭이 가능하고, 고입도 슷돌을 사용할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 MLCC 시트 절단용 초경합금 칼날 가공에 있어서 ELID연삭 기술을 적용하여 가공 방법에 따른 날 부의 치핑 현상과 표면거칠기를 분석하므로써 고품위의 칼날 가공을 위한 가공 방법을 검토 및 제안하고자 한다.

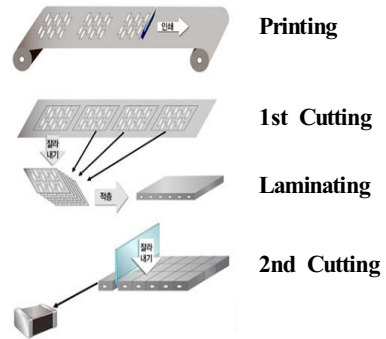
2. 실험 및 평가 방법

2.1 실험 장치 구성

본 실험에서 사용된 시편은 초경합금(WC)이며, 사용 슷돌 및 실험 장치는 Table 1 과 같다. 실험에



(a) Structure of MLCC



(b) MLCC manufacturing process

Fig. 1 Structure and fabrication process of MLCC

Table 1 Specification of experimental equipments

Machine		YGS-63A	
Grinding Wheel	Abrasive	cBN	Diamond
	Mesh No.	#2,000	#2,000/#4,000
	Bonding material	Cast iron	
Power Supply		K-ELID	
Grinding Fluid		CG-7	
Jig angle		18°	

사용된 연삭스틀을 직경 165mm, 폭 10mm의 cBN #2,000 슷돌과 SD #2,000 슷돌을 사용하였다. 또한 연삭스틀의 전해를 위한 동(copper) 전극을 연삭스틀과 간극 0.1mm로 설치하고, 연삭스틀 커버에 카본 브러시를 부착하여 스프링의 탄성에 의해 슷돌에 밀착할 수 있도록 설치하였다. ELID 전원장치에 의해 펄스 전류가 연삭액을 통과하여 연삭스틀 표면에 산화피막을 형성하도록 함으로서 연삭 가공 효율을 향상시킬 수 있도록 구성하였다. 칼날 부의 각도 가공은 회전형 마그네틱 척에 시편을 고정하여 일정 각도로 경사를 주어 날 부가 형성되도록

하였다. Fig. 2는 초경합금의 칼날 가공을 위해 구성된 ELID연삭 가공장치(YGS-63A) 및 전원 장치의 사진이다. 표면거칠기(Surface roughness)는 접촉식 표면거칠기 측정기(SJ-210, Mitutoyo)를 사용하였으며, 가공된 칼날 부의 표면관찰 및 형상 분석은 광학식 현미경(IMS Industrial Videoscope System, Sometech)을 이용하였다. 입도 #4,000을 사용한 고입도 슛돌 시험의 시편은 광학식 현미경으로 측정 시 흔들림에 의해 측정상이 왜곡되어 나타나므로 주사전자현미경(FE-SEM) 장치를 이용하여 날 부를 측정하였다.



Fig. 2 ELID Grinding system for experiments

2.2 실험조건

초경합금의 날 세움 가공을 위한 가공 조건 및 방법을 결정하기 위하여 연마재의 종류를 결정하기 위한 실험, 가공방향을 결정하기 위한 실험, 고입도 슛돌을 이용한 실험으로 나누어 순차적으로 진행하였다. 1) 연마재의 종류를 결정하기 위한 실험에서는 CBN 입자 및 다이아몬드 입자를 가진 입도 #2,000 슛돌을 각각 사용하고, 슛돌 평균 입경을 고려하여 1회 절입량 2 μ m으로 동일한 조건으로 실험하였다. 2) 연삭방향에 따른 가공방향을 결정하기 위한 실험에서는 슛돌의 진행 방향을 날과 수평(0°), 사선(45°), 수직(90°) 방향으로 나누어 각각 실험하였다. 3) 고입도 슛돌을 이용한 실험은 입도 #4,000 슛돌로 절입량 1 μ m이하의 조건으로 실험을 진행하고 날 부 상태를 비교 평가하였다. ELID 연삭을 위한 초기전압은 90V로 하였으며, 각 실험을 수행하기 전에 트루잉과 초기 전해 드레싱을 실시하고, 각 실험이 끝난 후에는 스파크 아웃을 시행하였다.

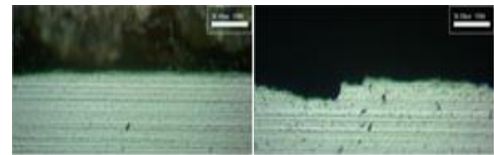
3. 실험결과 및 고찰

3.1 날 부 치핑 평가

시트 절단용 칼날은 치핑을 최소화하고 10 μ m 전후의 일정한 날 부를 생성하는 것이 중요하다. 치핑 실험은 연마입자의 종류, 가공 방향, 가공 방법, 연마재의 입도를 변화시켜 가공실험을 수행하였다.



(a) CBN abrasive



(b) Diamond abrasive

Fig. 3 Measured results of ground surface according to abrasive type

각 시편에 대해서 광학현미경으로 1700배로 확대하여 치핑 상태를 관찰하였다. 먼저, 연마입자의 종류에 따른 실험에는 다이아몬드와 cBN을 각각 사용하였으며 실험 결과는 Fig. 3과 같다. Fig. 3 (a)는 cBN #2,000 슛돌을 이용하여 가공한 실험 결과이다. 광학현미경 사진에서 관찰되는 바와 같이 날 부에 미세한 치핑이 일어남을 확인할 수 있다. Fig. 3 (b)는 다이아몬드 #2,000 슛돌을 이용하여 가공한 실험 결과이다. cBN 슛돌에 비해 치핑은 비교적 크게 발생하지만 치핑이 발생하지 않은 부위는 매끈한 날 부를 형성함을 알 수 있다. 가공방향에 따른 실험은 cBN 슛돌을 이용하여 슛돌의 가공 방향을 0°, 45°, 90°로 각각 설정하고 실험하였으며 그 결과는 Fig. 4와 같다. 가공표면은 세 방향 모두 연성 모드로 가공되어 매끈한 표면을 얻을 수 있었다.

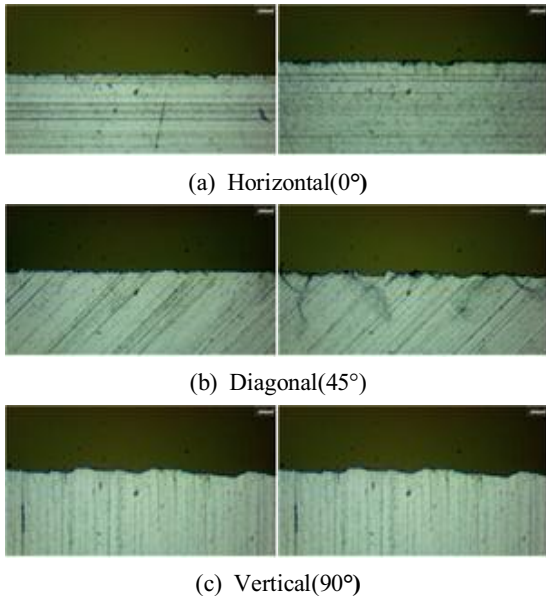


Fig. 4 Measured results of ground surface according to machining angle

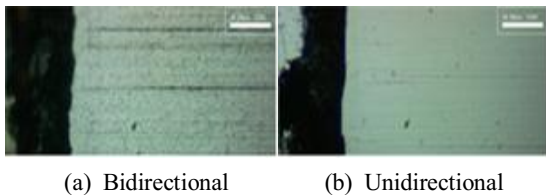


Fig. 5 Measured results of ground surface according to bidirectional and unidirectional cutting

치핑은 날 부와 0° 방향으로 가공한 Fig. 4 (a)의 경우가 가장 미세한 치핑이 형성되었으며 수직 방향으로 갈수록 치핑 크기는 증가하였다. 그러나 0° 방향으로 가공 시 치핑 저감에는 유리한 측면이 있으나 날 부 표면의 연삭흔적이 노치효과로 인해 칼날의 수명에 영향을 미칠 수 있으므로 적용하기에는 어려움이 있을 것으로 사료된다. 따라서 왕복 가공과 단일방향 가공에 따른 치핑 정도를 확인하기 위한 실험은 노치효과 영향이 적지만 치핑이 나타나기 쉬운 방향, 즉, 90° 방향으로 진행방향을 설정하고 왕복 및 단일 방향으로 각각 실험하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같다. 날 부의 치핑은 왕복 가공 하였을 때 보다 단일방향으로 가공하였을 때 치

핑 현상이 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 표면 거칠기 분석

날 부는 10 μ m이하의 두께로 생성되어야 하므로 미세한 날 부를 형성하기 위해서는 매우 고운 가공 표면이 요구된다. 연마입자의 종류와 가공 방법을 선정하기 위하여 실험을 수행하고 각각의 표면거칠기를 측정하였다. 표면거칠기는 일정한 간격으로 각 영역을 5회 반복 측정하고 평균값으로 비교하였다. Fig. 6은 cBN 슛돌과 다이아몬드 슛돌로 날 부 가공 표면을 측정한 결과이다. cBN #2,000 슛돌 가공 표면의 표면 거칠기는 0.025 μ mRa, 0.139 μ mRmax, 다이아몬드 #2,000스�돌을 이용한 가공표면은 0.012 μ mRa, 0.091 μ mRmax로 나타났다. 다이아몬드 슛돌이 cBN에 비해 표면 거칠기는 Ra 및 Rmax 모두 50% 이상 개선되었다.

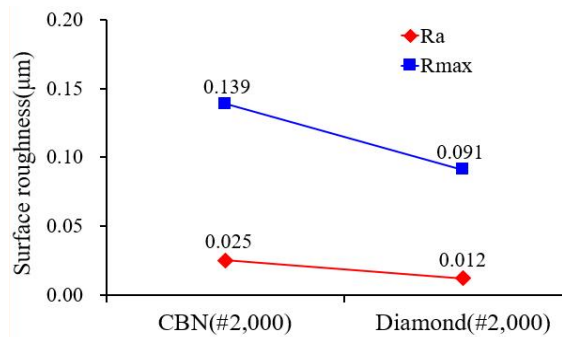


Fig. 6 Surface roughness measurement results by abrasive type

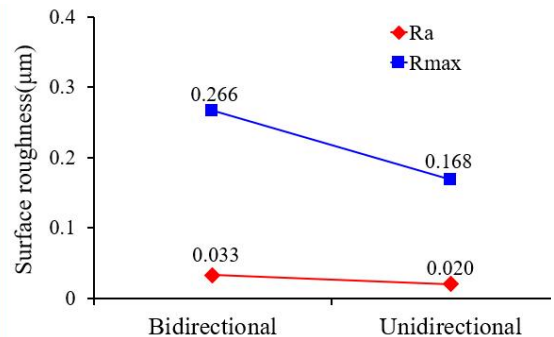


Fig. 7 Surface roughness measurement results by grinding method

가공 방법 선정을 위한 단방향 및 왕복 가공 시편에 대해서 표면 거칠기를 측정된 결과는 Fig. 7과 같다. 왕복가공 시 표면 거칠기는 $0.033\mu\text{mRa}$, $0.266\mu\text{mRmax}$, 단방향 가공 시 $0.02\mu\text{mRa}$, $0.168\mu\text{mRmax}$ 로 한 방향으로 가공할 때 더욱 우수한 가공 표면을 얻을 수 있었다. 표면 거칠기 실험 결과로 부터 다이아몬드 스톨을 이용하여 단방향으로 날 부를 가공하는 것이 가공표면 개선에 유리함을 확인할 수 있었다.

3.3 고입도 스톨가공 응용

날 부 치핑 평가 및 표면거칠기 실험 결과에서와 같이 cBN 스톨을 사용하는 경우에는 날 부에 미세한 치핑이 형성되었다. 다이아몬드 스톨을 이용한 경우에 치핑발생 부위는 크게 나타나지만 치핑이 발생하지 않는 부위에서는 매우 개선된 날 부를 형성하였다. 표면 거칠기는 cBN스톨에 비해 더욱 우수한 가공표면을 얻을 수 있었다. 다이아몬드와 cBN은 누프 경도가 각각 7000과 4500, 탄성계수는 각각 500GPa이상, 380GPa이다^{9),10)}. 다이아몬드의 탄성계수와 경도는 cBN에 비해 매우 높기 때문에 미세가공 시에는 다이아몬드의 탄성 변형이 작아 공작물에 가해지는 가공압력은 상대적으로 높은 것으로 사료된다. 다이아몬드 스톨의 이와 같은 특성으로 인해 두께가 얇은 날 부 가공에서 치핑 발생 위험을 높이는 요인이 될 수 있지만, 매우 낮은 가공압력 하에서는 cBN 스톨에 비해 우수한 표면 거칠기를 얻을 수 있으므로 예리한 날 부를 얻는 데는 다이아몬드 스톨을 사용하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 따라서 MLCC 절단용으로 요구되는 날 부를 형성하기 위한 실험에서는 가공압력을 낮추어 치핑을 예방하고 우수한 가공표면의 날 부를 제작하기 위해 고입도 #4,000 다이아몬드 스톨을 이용한 ELID 연삭 실험을 수행하였다. 연삭 시 1회 절입 깊이는 $1\mu\text{m}$ 으로 설정하고 그 외의 다른 조건은 이전 실험과 동일하게 진행하였다. Fig. 8은 가공 시편을 FE-SEM 장비에서 5,000배율로 측정된 사진이다. 실험 결과와 같이 날 부 치핑이 관찰되지 않았으며, 날 부 두께는 $6.38\mu\text{m}$ 으로 가공되어 평면연삭기에서 MLCC 절단에 요구되는 $10\mu\text{m}$ 이하 수준의 날 부를 성공적으로 얻을 수 있었다.

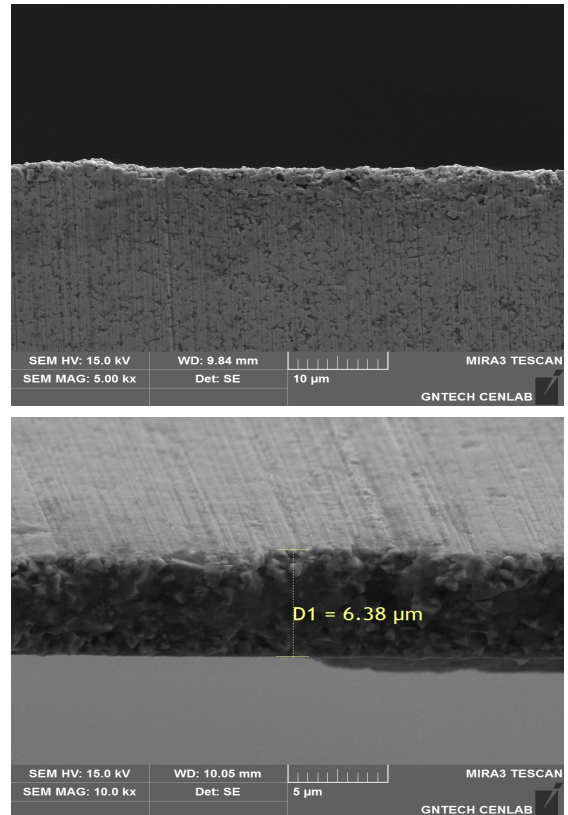


Fig. 8 FE-SEM measurement results of created knife edge area using #4000 grinding wheel

4. 결 론

ELID연삭 가공기술을 이용하여 MLCC 절단용 초경합금 칼날의 예리한 날 부를 형성하기 위해 연마입자의 종류, 연삭 방향, 가공 방법에 따른 날 부의 치핑정도 및 표면 거칠기를 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 날 부 치핑 실험 결과로부터 다이아몬드 스톨을 이용한 경우에는 치핑이 발생한 부위는 크게 나타나지만 치핑이 발생하지 않는 부위에서는 매우 개선된 날 부를 형성하였다.
2. 왕복 가공 하였을 때 보다 단일방향으로 가공하였을 때 치핑 현상이 저감되었으며 표면 거칠기가 향상되었다.

3. 표면 거칠기 실험 결과, 다이아몬드 슷돌을 이용하여 단방향으로 날 부를 가공할 때 우수한 가공표면을 얻을 수 있었다.
4. 고입도 #4,000 다이아몬드 슷돌을 이용한 실험 결과, 날 부에 치핑이 관찰되지 않았으며, 날 부의 두께는 6.38 μm 으로 가공되어 MLCC 절단에 요구되는 10 μm 이하 수준의 날 부를 성공적으로 가공할 수 있었다.

후 기

“이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학회
계연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Shin, G. H., Kang, B. O. and Kwak, T. S., “Effect of the Elasticity Modulus of the Jig Material on the Blade Edge Shape in the Grinding Process of Sapphire Medical Knife - Part 2 Verification of the Chipping Phenomenon and Elastic Modulus of the Jig Material,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, pp. 63-68, 2017.
2. Shin, G. H., Kwak, T. S., Jung M. W., and Kwak, I. S., “Effect of Reference Current and Depth of Cut on Electro-Discharge Energy in Electro-Discharge Truing Process for Metal-Bonded Grinding Wheel,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 33, No. 6, pp. 485-490, 2016.
3. Lee, Y. C., and Shin, G. H., Kwak, T. S., “Deburring Technology of Vacuum Plate for MLCC Lamination Using Magnetic Abrasive Polishing and ELID Process,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 3, pp. 149-154, 2015.
4. Kwak, T. S., “Machining Properties to Nano-Level Mirror Surface Finishing for Fine Grained WC-Co 18% Alloy using Magnetic Polishing Slurry,” Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 46, No. 1, pp. 102-109, 2009.
5. Shin, G. H., Lee, D. W. and Kwak, T. S., “Effect of the Elasticity Modulus of Jig Material on Blade Edge Shape in Grinding Process of Sapphire Medical Knife,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 2, pp. 102-107, 2017.
6. Kwak, J. S. and Kwak, T. S., “Review of Technology Trends for Ceramics Removal-Machining,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 30, No. 12, pp. 1227-1235, 2013.
7. Kim, H. U., Jeong, S. H., Ahn, J. J., Cha, D. H., Lee, D. G., Kim, H. J. and Kim, J. H., “Optimal Grinding Condition of Tungsten Carbide(WC) for Aspheric Glass Lens Using DOE,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 5, No. 4, pp. 41-45, 2006.
8. Zhang, J. S., Bass, J. D., Taniguchi, T., Goncharov, A. F., Chang, Y. and Jacobsen, S. D., “Elasticity of Cubic Boron Nitride under Ambient Conditions,” Journal of Applied Physics, Vol. 109, Issue 6, 2011.
9. Valdez, M. N., Umamoto, K., and Wentzcovitch, R. M., “Elasticity of Diamond at High Pressures and Temperatures,” Applied Physics Letters, Vol. 101, Issue 17, 2012.