

## cBN-Al소결체의 파괴인성에 미치는 상분포의 영향

리영섭, 신은아

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《새 재료부문을 발전시키지 않고서는 전자공업을 주체적으로 발전시킬수 없고 기계공업의 현대화를 실현할수 없으며 최신과학기술을 전반적으로 발전시킬수 없습니다.》

(《김정일선집》 증보판 제15권 487페이지)

립방질화붕소(cBN)소결체의 파괴인성은 파괴를 일으키는 균렬형성에너지와 균렬전파경로에 관계되며 균렬전파경로는 소결체의 미시구조상태에 관계된다.

cBN소결체에서 균렬전파경로[1]는 cBN알갱이와 결합제와의 결합세기에 따라서 cBN알갱이내부 혹은 립계에 놓이며 cBN-Al소결체에서 균렬전파경로[2]는 립계에 놓인다.

선행연구[3]에서는 코발트결합제금강석소결체인 경우에 파괴가 금강석알갱이를 뚫고나가는 균렬전파물림새에 의하여 일어나며  $50\mu\text{m}$ 이하인 소결체에서는 인성값이  $6\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 까지 증가하고 립도가  $50\mu\text{m}$ 이상인 소결체에서는 인성값이 일정하게 유지된다는 초경질재료 파괴저항의 립도의존성을 밝혔다. 선행연구[4]에서는 알루미늄소결체의 경우에 균렬전파경로가 립계에 놓이며 균렬비표면에너지가 립자사이거리에 대한 립자크기비의 증가에 따라서 증가한다는 알루미늄소결체파괴저항의 립자사이거리의존성을 밝혔다.

우리는 cBN-Al소결체미시구조의 통계적인 분포상태와 파괴인성과의 관계를 논의하였다. 실험에서 리용한 cBN-Al소결체시편들의 조성은 표 1과 같다.

표 1. cBN-Al소결체시편들의 조성

시편번호	cBN의 립도조성	cBN : Al조성/체적%
1	$2.45\mu\text{m}$ 100%	85:15
2	$2.45\mu\text{m}$ 100%	80:20
3	$2.45\mu\text{m}$ 100%	75:25
4	$6.37\mu\text{m}$ 80%+ $1.00\mu\text{m}$ 20%	85:15
5	$6.37\mu\text{m}$ 80%+ $1.00\mu\text{m}$ 20%	80:20
6	$6.37\mu\text{m}$ 80%+ $1.00\mu\text{m}$ 20%	75:25
7	$14.5\mu\text{m}$ 80%+ $1.00\mu\text{m}$ 20%	85:15
8	$14.75\mu\text{m}$ 75%+ $6.37\mu\text{m}$ 10%+ $1.00\mu\text{m}$ 15%	85:15
9	$14.75\mu\text{m}$ 75%+ $6.37\mu\text{m}$ 10%+ $1.00\mu\text{m}$ 15%	80:20
10	$14.75\mu\text{m}$ 75%+ $6.37\mu\text{m}$ 10%+ $1.00\mu\text{m}$ 15%	75:25

먼저 표 1의 자료와 MATLAB응용프로그램을 리용한 알고리즘을 작성하여 cBN-Al소결체시편들에서 cBN알갱이와 결합상들의 평균크기와 평균2체곱편차값들을 계산하였다.(표 2)

표 2. cBN-Al소결체시편들에서 상들의 평균크기와 평균2제곱편차값

시편 번호	평균크기/ $\mu\text{m}$		평균2제곱편차/ $\mu\text{m}$		시편 번호	평균크기/ $\mu\text{m}$		평균2제곱편차/ $\mu\text{m}$	
	cBN	결합상	cBN	결합상		cBN	결합상	cBN	결합상
1	2.398	0.957	2.180	0.659	6	3.106	2.050	2.578	2.182
2	2.231	1.072	1.915	0.826	7	4.692	1.945	4.971	1.737
3	1.920	1.207	1.580	1.029	8	6.084	2.665	6.528	2.574
4	3.490	1.453	3.340	1.218	9	5.107	2.828	5.204	2.641
5	3.410	1.811	3.244	1.839	10	2.805	1.857	2.676	1.970

다음 상계면적의 체적밀도와 파괴인성과의 관계를 고찰하였다.

전체 상계면적계산에서는 립도분포가 정규분포에 따른다고 가정하였다.

소결체에서 cBN알갱이의 전체 체적과 계면적은 다음과 같다.

$$V = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{4\pi r^3}{3} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(r-\bar{r})^2}{2\sigma^2}\right) dr \quad (1)$$

$$S = \int_{-\infty}^{+\infty} 4\pi r^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(r-\bar{r})^2}{2\sigma^2}\right) dr \quad (2)$$

여기서  $\bar{r}$ 는 cBN알갱이의 평균크기이고  $\sigma$ 는 cBN알갱이평균크기의 2제곱편차이다.

식 (1), (2)를 리용하여 단위체적당 계면적의 평균크기  $\beta$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\beta = \frac{S}{V} = \frac{3(\sqrt{\pi}\sigma^2 + 2\sqrt{2}\bar{r}\sigma + \sqrt{\pi}\bar{r}^2)}{2\sqrt{2}\sigma^3 + 3\sqrt{\pi}\bar{r}\sigma^2 + 3\sqrt{2}\bar{r}^2\sigma + \sqrt{\pi}\bar{r}^3} \quad (3)$$

결합제의 단위체적당 계면적의 크기  $\alpha$ 는 다음과 같다.

$$\alpha = \beta \frac{V_{\text{cBN}}}{V_b} \quad (4)$$

여기서  $V_b$ 는 결합제의 체적이다.

계산된 cBN-Al소결체시편들의  $\alpha$  값은 표 3과 같다.

표 3. cBN-Al소결체시편들의  $\alpha$  값

시편번호	$\alpha$	$K_{\text{IC}}$	$m$	시편번호	$\alpha$	$K_{\text{IC}}$	$m$
1	4.662	$6.44 \pm 0.4$	6.77	6	1.777	$7.04 \pm 0.25$	16.2
2	3.537	$7.08 \pm 0.48$	9.77	7	2.159	$8.03 \pm 0.05$	24.0
3	3.009	$7.12 \pm 0.19$	10.03	8	1.651	$7.93 \pm 0.18$	16.0
4	3.102	$7.56 \pm 0.69$	6.14	9	1.380	$7.81 \pm 0.34$	24.9
5	2.161	$7.61 \pm 0.27$	15.67	10	1.881	$6.95 \pm 0.11$	19.9

소결체시편들의 조성(표 1)으로부터 계산한 립계응력확대결수( $K_{\text{IC}}$ )와 웨이블결수( $m$ )값을 표 3에 함께 보여주었다. 이 두 결수들은 파괴힘에 대한 저항력을 나타내는 결수들인데

소결체의 종류에 따라서 구별된다.

표 3에서 보는바와 같이 시편들의 조성에 따르는  $K_{IC}$ 와  $m$ 값으로는 파괴경향성을 고찰할 수 없다.

$\alpha$ 와 립계응력확대결수, 웨이블결수사이의 관계는 그림과 같다.

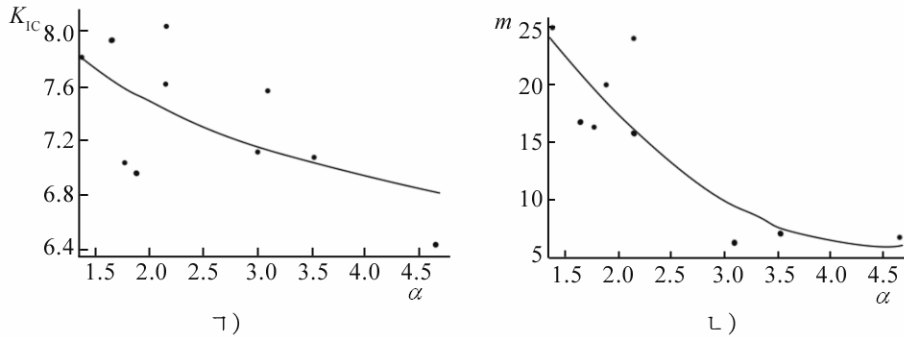


그림.  $\alpha$ 와  $K_{IC}(\alpha)$ ,  $m(\alpha)$ 사이의 관계

그림에서 보는바와 같이 단위체적당 계면적의 크기가 클수록 즉 계면적의 밀도가 클수록 파괴가 쉽게 일어난다. 파괴경향성은 웨이블결수에서 더욱 뚜렷이 나타난다. 이것은 파괴를 일으키는 균열전파가 상계면을 따르는 굴곡운동물림새로 진행되며 균열은 립계에서 발생한다는것을 보여준다.

이와 같이 소결체시편들의 조성으로부터 복잡하게 계산되는 립계응력확대결수와 웨이블결수로부터 파괴경향성을 고찰하지 않고 상계면적으로부터도 그 경향성을 쉽게 고찰할 수 있다.

론문에서 제기한 cBN-Al소결체의 파괴물림새는 알루미나소결체의 파괴물림새[4]와 일치하였다.

## 맺는 말

MATLAB응용프로그램을 리용하여 cBN소결체의 상분포특성량들을 결정한데 기초하여 상계면적의 밀도가 크면 소결체의 파괴인성이 낮아진다는것을 해명하였다.

## 참고 문헌

- [1] P. F. Wang et al.; Solid State Sciences, 13, 1041, 2011.
- [2] L. Liu et al.; International Conference of Electrical, Automation and Mechanical Engineering, 286~288, 2015.
- [3] D. Meiss et al.; Materials Science and Engineering, A 209, 270, 1996.
- [4] M. J. Jaap et al.; A General Introduction to Fracture Mechanics and Mechanical Strength of Materials, Philips Electronics, 59~60, 1998.

## **Influence of Phase Distribution on Fracture Toughness of Cubic Boron Nitride Compact**

*Ri Yong Sop, Sin Un A*

We have found that fracture toughness of cBN-Al compact decreases with the density of the phase interfacial area increasing on the basis of the analysis of phase distribution characteristics by using MATLAB program.

Key words: fracture toughness, phase distribution