

< 論 文 >

AE에 의한 WA계 비트리파이드 및 레지노이드 結合劑研削숫돌의 破壞強度評價

康明順* · 韓應教* · 權炯湖**

(1987年 8月 28日 接受)

Evaluation of Fracture Strength of WA-Vitrified and Resinoid Bond Grinding Wheels by Acoustic Emission

Myung Soon Kang, Eung Kyo Han and Dong Ho Kwon

Key Words : Root Mean Square Voltage(실효치전압), AE Cumulative Event Counts(AE 사상 총수), AE Event Count Rate(AE 사상율), AE Peak Voltage(AE 최대전압), Averagae Grain Diameter(평균입경)

Abstract

The purpose of this paper is to evaluate fracture strength of WA-vitrified and resinoid bond grinding wheels by means of acoustic emission. The paper conducts tension test, compression test, splitting tensile test and bending test with AE measuring system. These tests have been carried out in accordance with the grain sizes and grades of grinding wheels. The fracture strength of grinding wheels is evaluated by the clarification of biaxial fracture criterion of Babel and Sines. It clarifies the influence of factors of grinding wheel upon AE characteristics and evaluates the predictability of life of grinding wheels and the perception of fracture.

記 號 說 明

a	: 橢圓孔의 長徑	r	: 橢圓孔의 長-短徑比
B	: 레지노이드(resinoid) 結合劑	R_{ct}	: 壓縮-引張強度比
B_0	: 結合劑의 量	RMS_{AE}	: AE實効值電壓
b	: 橢圓孔의 短徑	t	: 試驗片의 두께
d_0	: 平均粒徑	V	: 비트리파이드(vitrified) 結合劑
L	: 試驗片의 標點距離	V_p	: AE最大電壓(AE peak voltage)
m	: 研削숫돌의 組織	V^0	: 橢圓孔의 長軸에 대한 最大主應力方向의 角
N	: AE事象總數(AE cumulative event counts)	θ^0	: 橢圓孔의 長軸과 壓縮軸이 이루는 角
n	: AE事象率(AE event count rate)	σ_1, σ_2	: 主應力
		σ_b	: 굽힘強度
		σ_c	: 壓縮強度
		σ_{st}	: 壓裂強度
		σ_t	: 引張強度

*正會員, 漢陽大學校 工科大學 精密機械科

**正會員, 漢陽大學校 大學院

1. 序 論

能率的인 研削作業을 위해서는 研削숫들의 研削性能에 대한 評價와 더불어 高强度·高速研削에 적용할 수 있는 最適研削숫들의 選定을 위한 破壞强度評價^(1,2)가 필요하다. 研削숫들은 作業에 있어서 粒子의 强度和 破碎性이 매우 높아야 하므로, 숫들 粒子끝의 微小破碎에 관한 研究가 활발히 進行되고 있다⁽³⁾.

高强度·高速研削에 있어서 중요한 것은 (1) 研削숫들의 破壞速度에 대한 不安定性, (2) 機械의 剛性, (3) 研削숫들 베어링部の 高速連續運轉에 있어서의 不安定등에 대한 安全對策^(4~6)이라고 할 수 있으며, 研削숫들의 破壞에너지는 예상외로 커서 이에 대한 事後對策은 물론, 破壞을 예방하는 것이 必須條件이다. 특히, 研削숫들 內部에 균열과 같은 潛在的 損傷이 있을 경우, 급속한 龜裂成長으로 인하여 破壞의 위험성은 더욱 높아지므로 研削숫들의 研削性能 및 破壞强度에 대한 評價가 體系의으로 확립되어야 한다.

이 분야에 대한 연구로서는 Griffith⁽⁷⁾의 脆性破壞理論을 기초로 하여 콘크리트(concrete)의 破壞條件을 提示한 Brestler⁽⁸⁾, 多孔質脆性體인 질코니아(zirconia)에 대한 破壞條件을 2軸應力場理論에 의하여 검토한 Bable과 Sines⁽⁹⁾, 研削숫들의 構造를 多數의 균열을 포함한 2次元連續體로 모델化하여 線型破壞力學의 理論으로 研削숫들의 巨視的 破壞에 대한 理論을 제안한 Miyamoto⁽¹⁰⁾ 등의 靜的 檢査法에 의한 연구가 있다.

최근에는 安全性監視 및 材料評價를 위하여 非破壞檢査分野에서 널리 활용되고 있는 AE(acoustic emission)를 이용하여 Dornfeld⁽¹¹⁾는 平面研削에서 로우딩(loading)現想과 AE信號特性 사이의 關係를 調査하였고, Eda^(12,13)는 研削過程중 熱應力에 의하여 발생하는 研削龜裂 및 버어닝(burning) 現象의 인프로세스(in-process) 檢出方法을 발표하였으며, Kimura⁽¹⁴⁾는 研削숫들의 表面을 靜的狀態에서 局部的으로 破壞하고, 이 때 발생하는 AE와 結合度와의 關係로부터 AE法을 이용한 結合度判定의 可能性을 檢討하였다.

이와같이 研削숫들의 性能 및 破壞强度에 관한 연구가 進行되고 있으나 대부분이 靜的檢査法에 의한 것이고, AE法을 이용한 動的檢出方式의 研削숫

들의 研究는 거의 발견할 수 없다. AE는 固體材料가 破壞, 塑性變形 및 變能등을 할 때, 그 變形域에 저장된 彈性에너지가 解放됨에 따라 발생하는 예리한 펄스(pulse) 狀態의 彈性波로 定義된다. AE法을 이용하여 단순한 機械的 試驗方法으로는 不可能한 材料缺陷의 有無나 破壞의 豫知 및 온-라인(on-line) 監視를 動的 및 高感도로 檢出하여 精密度 높게 파악할 수 있다⁽¹⁵⁾. 따라서, 高强度·高速化에 따른 研削숫들의 安全性評價와 AE特性의 定量的 評價의 可能性을 기대할 수 있다.

본 연구에서는 숫들粒子, 結合劑 및 氣孔으로 組成된 研削숫들의 構造를 多孔質脆性體로 보고, WA系 비트리파이드(vitrified) 및 레지노이드(resinoid) 結合劑의 研削숫들試驗片에 대하여 AE計測方法을 이용한 引張, 壓縮, 굽힘 및 壓裂試驗을 實施하여 Babel과 Sines의 2軸應力場解析理論과 研削숫들의 破壞條件을 관련시켜 評價함과 동시에, 이 때 檢出되는 AE 信號 處理 파라미터(parameter)로부터 研削숫들의 諸因子가 破壞强度 및 AE特性에 미치는 影響을 究明하여 破壞의 豫知 및 研削숫들壽命의 豫測可能性등의 破壞强度特性을 評價考察하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

2.1 試驗片 및 材料

本 實驗에 사용한 試驗片材料는 白色알루미나質의 人造研削材이며, 結合劑는 비트리파이드와 레지노이드를 選定하였고, 粒度는 #46, #90, #120, #220, 結合度는 J, K, L, M, N, O로 하였으며, 숫들 粒子의 化學性分은 Table 1과 같다.

試驗片이 脆性材料이므로 試驗片의 길이와 斷面積의 比를 고려하여 Fig. 1과 같이 試驗片의 形狀 및 치수를 결정하였다. 비트리파이드試驗片은 숫들 粒子WA, 물, 麥粉, 澱粉 및 結合劑인 비트리파이드(長石, 白土, 滑石, 石灰石)의 順으로, 레지노이드試驗片은 숫들 粒子WA, 結合劑인 粉末石炭酸樹

Table 1 Chemical composition of abrasive grain (Wt.%)

Abrasive grain	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
WA	99.6	0.01	0.03	0.01

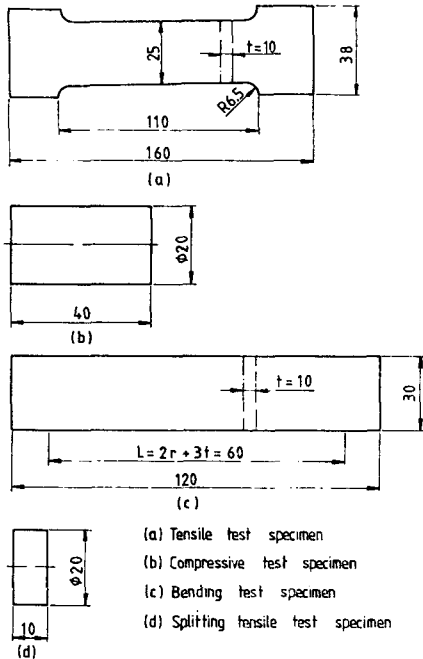


Fig. 1 Dimensions of specimens

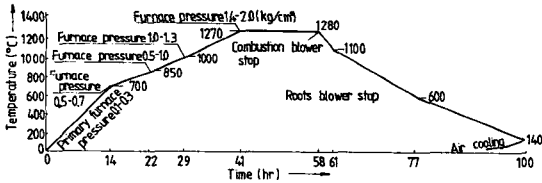


Fig. 2 Heat treatment curve of vitrified bond grinding wheel specimens

脂(phenol resin : KNG 100), 液相石炭酸樹脂(KRG 700), Fe_2O_3 의 順으로 混合하여 粒子率 46%, 結合劑率 11%를 기준으로 金型에서 成形했다. 비트리파이드試驗片의 燒結은 燒成爐(Bell Kiln : Keum Sung Grinding Wheels Co.)에서 Fig. 2에 나타낸 바와같이 燒成하였고, 레지노이드試驗片은 Fig. 3과 같은 熱處理過程에 따라 電氣爐(Solo Industrial Furnace Co.)에서 熱硬化시켰다. 이와같이 燒成된 試驗片은 Fig. 1과 같은 形狀 및 치수로 트루잉(truing) 및 다이아몬드 줄(diamond file)로 磨작업을 하여 各 種類別로 제작하였다.

2.2 實驗裝置 및 實驗方法

Fig. 4는 本 實驗에 사용한 AE 計測方法을 線圖로 나타낸 것이다. AE센서(AE904S : NF Circuit

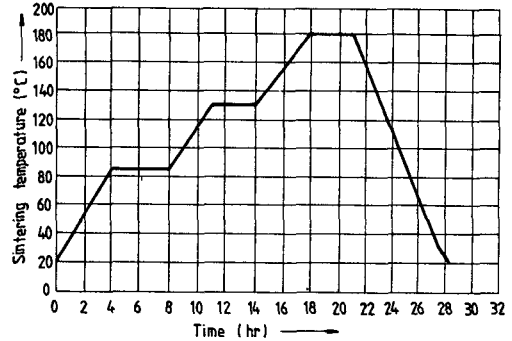


Fig. 3 Sintering temperature and time of resinoid bond grinding wheel specimens

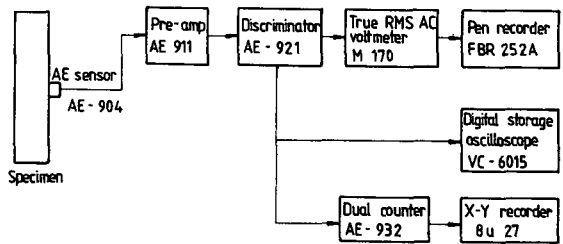


Fig. 4 Block diagram of AE measuring system

Co.)를 試驗片의 中心部에 에폭시 레진(epoxy resin)으로 부착하고, 荷重負荷를 위하여 사용한 UTM(DCS Series : Schimadzu Co.)의 試驗片支持具에 試驗片을 고정한 후, UTM의 最大荷重을 3 tonf, 最小 눈금을 5kgf, 負荷速度를 1mm/min로 하여 各 試驗片別로 15개씩 試驗하였다. 荷重負荷時 발생되는 AE波는 AE센서에서 檢出되어 pre-amp에서 20dB로 增幅한 後, discriminator(AE 921S : NF Circuit Co.)로 보내어 AE波의 振幅을 40~60dB로 增幅하고, 100kHz~1MHz의 band pass filter를 通하여 全波整流한 다음, ture RMS AC 電壓計(M-170 : NF Circuit Co.)로 보내어 그 出力을 pen recorder(FBR-252A : Toa Electronics Co.)에 chart speed를 20mm/min로 하여 기록함과 동시에 디지털 스토리지 오실로스코프(digital storage oscilloscope, VC-6015 : Hitachi Denshi Co.)에서 波形을 觀察하는 한편, discriminator에서 나온 AE信號를 AE dual counter(AE 932 : NF Circuit Co.)로 보내어 threshold level을 調整하고, AE事象率(event count rate) n 및 AE事象總數(cumulative event counts) N 을 X-Y記錄計에 記錄되도록 하였다. 本 실험에 사용된 試驗片은 세라

믹(ceramic)과 플라스틱(plastic)이複合된脆性體이므로 모든情報處理는事象을單位로하고있으며, AE信號處理과라미터로서 AE事象率, AE事象總數, AE波形觀察 및 實効值電壓 RMS_{AE} 를周波數性分(rise time, duration)과 관련시켜測定하였다. 또한, AE計數方式는包絡線檢波方式를택하였으며, 各研削숫돌試驗片的AE計數量을定量的으로 비교하기 위하여擬似AE波(artificial AE wave)의 ring-down計數量이一定值로되는電氣系의 gain을調節하는方法으로感度を校正하였다. 이상과 같이各種實驗을實施하고, 氣孔의形狀 및 치수를金屬顯微鏡(PME: Olympus Optical Co.)으로測定하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1 粒度 및 結合度와 RMS_{AE}

Fig. 5, 6, 7, 8은 研削숫돌의 組織을一定(m , 8)하게 하고, 粒度를變化시킨 結合度 J , O 의 비트리파이드 및 레지노이드試驗片에 대하여引張, 壓縮, 굽힘 및 壓裂試驗을 실시하고, 이 때檢出되는 實効值電壓 RMS_{AE} 와 破壞強度의 값을平均粒徑과의 관계로兩對數座標에 나타낸 것이다.

破壞強度 및 RMS_{AE} 값은平均粒徑이 큰 즉, 粒度가 작은試驗片일수록 거의直線의으로 감소하며, 동일한 粒度를 가진 結合度 J 의試驗片과 結

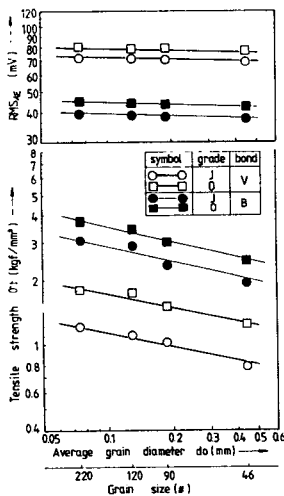


Fig. 5 Tensile strength σ_t and RMS_{AE} versus average grain diameter d_0 for vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens

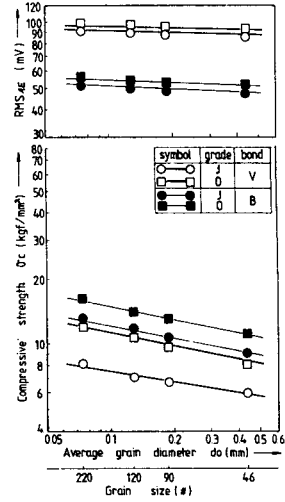


Fig. 6 Compressive strength σ_c and RMS_{AE} versus average grain diameter d_0 for vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens

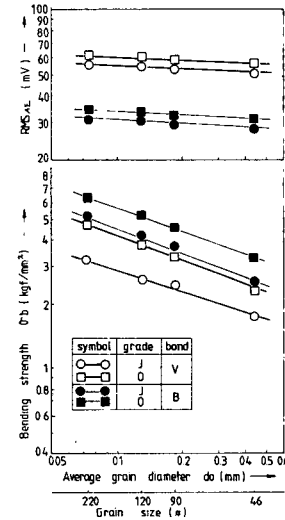


Fig. 7 Bending strength σ_b and RMS_{AE} versus average grain diameter d_0 for vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens

合度 O 의試驗片을比較해 보면, 結合度 O 의試驗片이 結合度 J 의試驗片보다 破壞強度 및 RMS_{AE} 도 큰 값을 보이고 있다. 또한, 實驗結果, 동일粒度, 동일結合度の試驗片일 경우라도 비트리파이드試驗片이 레지노이드試驗片보다 破壞強度의 값은 작지만, RMS_{AE} 는 약 1.75~1.88배정도 높은 값으로檢出되었다. 이結果로부터 研削숫돌의 破壞強度 및 RMS_{AE} 는 平均粒徑과 結合劑量에 의존함을

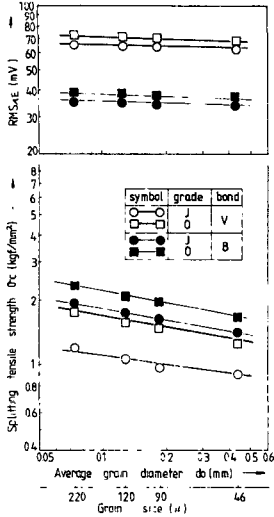


Fig. 8 Splitting tensile strength σ_{st} and RMS_{AE} versus average grain diameter d_0 for vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens

알 수 있다. 研削숫돌의 破壊機構⁽⁷⁾는 숫돌粒子的 破碎에 의한 粒内破壊와 bond bridge에서의 粒界 破壊로 大別할 수 있다. 粒内破壊領域에서는 균열의 成長이 일단 粒界에 의하여 阻止되며, 粒徑의 크기를 갖는 균열이 形成된다고 할 수 있다. 粒界 破壊의 경우에는 結合劑가 숫돌粒자를 皮복한 상태로 結合하고 있다고 볼 수 있으므로 粒界에 發生한 균열의 크기도 粒徑의 크기에 近似한 것으로 생각된다. 그런데, 인프로세스 중의 대부분의 破壊균열은 숫돌粒자와 結合劑의 境界面에서 發生하고, 숫돌粒자와 結合劑의 境界面에는 숫돌粒자와 거의 같은 크기를 갖는 氣孔部가 존재하며, 荷重負荷時에 氣孔部의 先端에는 강한 應力集中現象이 일어나 龜裂의 進展과 더불어 AE波가 生成됨을 알 수 있다. 숫돌粒자와 結合劑의 境界面에서 發生한 균열의 크기는 平均粒徑과 밀접한 관계가 있으므로 實驗結果에 의해 비트리파이드試驗片과 레지노이드試驗片에 대하여 각각 實驗式을 求하면 다음과 같다.

비트리파이드試驗片의 경우 ;

$$\left. \begin{aligned} \sigma_t &= (0.62 \sim 1.05) d_0^{-0.23} \\ RMS_{AE} &= (70.11 \sim 77.29) d_0^{-0.02} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= (4.94 \sim 6.94) d_0^{-0.21} \\ RMS_{AE} &= (85.61 \sim 90.29) d_0^{-0.03} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= (1.47 \sim 1.64) d_0^{-0.34} \\ RMS_{AE} &= (49.96 \sim 52.78) d_0^{-0.05} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{st} &= (0.79 \sim 1.12) d_0^{-0.18} \\ RMS_{AE} &= (62.61 \sim 65.44) d_0^{-0.03} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

레지노이드試驗片의 경우 ;

$$\left. \begin{aligned} \sigma_t &= (1.46 \sim 2.03) d_0^{-0.26} \\ RMS_{AE} &= (37.20 \sim 40.78) d_0^{-0.03} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= (7.99 \sim 9.30) d_0^{-0.20} \\ RMS_{AE} &= (45.21 \sim 48.60) d_0^{-0.05} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_b &= (1.79 \sim 2.54) d_0^{-0.34} \\ RMS_{AE} &= (26.92 \sim 29.65) d_0^{-0.05} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{st} &= (1.20 \sim 1.42) d_0^{-0.18} \\ RMS_{AE} &= (33.54 \sim 35.29) d_0^{-0.03} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

研削숫돌의 破壊强度 및 RMS_{AE} 는 結合劑種에 따라 差異는 있지만, 破壊强度는 平均粒徑의 약 -0.2 ~ -0.3 乘에 비례하고, RMS_{AE} 는 平均粒徑의 약 -0.03 ~ -0.05 乘에 비례함을 알 수 있다. 따라서, 平均粒徑이 작고 結合劑의 量이 많은 즉, 粒度가 크고 結合度가 높은 研削숫돌일수록 숫돌粒子 사이에는 結合劑가 더욱 含浸되어 結合劑率이 높아져 破壊强度는 큰 값을 갖게 되고, bond bridge의 變形域도 커지므로 큰 AE波가 發生하여 RMS_{AE} 도 큰 값으로 나타난다. 동일粒度·동일結合度의 경우라도 레지노이드結合劑研削숫돌이 비트리파이드結合劑研削숫돌보다 破壊强度의 값은 크나, RMS_{AE} 의 값이 작게 나타난 것은 石炭酸系의 結合劑가 磁器質結合劑보다 結合劑의 含浸率은 우수하지만, AE의 傳播特性이 낮기 때문인 것으로 判斷된다.

3.2 研削숫돌의 AE波形特性

Fig. 9는 研削숫돌의 粒度 및 結合度가 AE最大電壓(peak voltage) 및 AE振幅分布에 미치는 影響을 알아 보기 위하여 粒度 #120, #220, 結合度 J, O인 비트리파이드 및 레지노이드試驗片에 대하여 종래부터 脆性材料의 引張强度推定에 사용되고 있는 壓裂試驗(splitting tensile test)을 실시하고, 破斷直前の AE波形을 오실로스코프로 觀察한 것이다. Fig. 9의 (a), (b)는 粒度 #120, 結合度 J, (c), (d)는 粒度 #120, 結合度 O, (e), (f)는 粒度 #220, 結合度 O인 비트리파이드 및 레지노이드試驗片의 AE波形을 나타낸 것이다. 동일한 粒度의 경우에는 試合度 J의 試驗片보다 結合度 O의 試驗片이, 동일한 結合度의 경우에는 粒度 #120의 試驗片보다 粒度 #220의 試驗片이, 그리고 동일粒度·동일結合度의 경우에는 비트리파이드試驗片이 레지노이드試驗片보다 AE波의 振幅分布

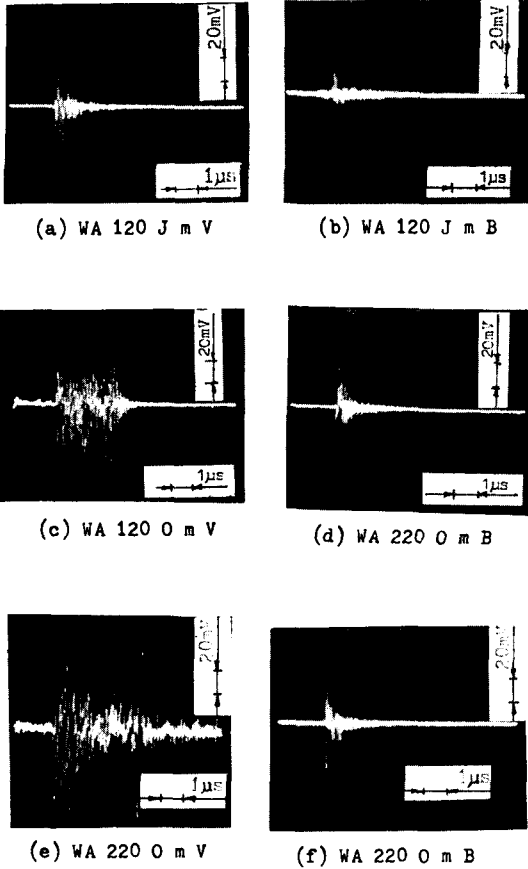


Fig. 9 AE waveform detected in vitrified(a, c, e) and resinoid(d,d,f) bond grinding wheel specimens by oscilloscope

및 AE最大電壓 V_p 도 크게 나타났다. 粒度가 크고 結合度가 높은 試驗片일수록 AE波發生의 持續時間(duration)이 긴 것을 관찰할 수 있다. 이상과 같은 경향은 粒度가 크고 結合度가 높은 試驗片이 그 반대의 試驗片에 비하여 平均粒徑은 작지만, 氣孔率 및 結合劑率이 높아져 긋들粒子 사이의 結合力이 強化되므로, 試驗片의 波斷時에 放出되는 表面에너지가 큰 값으로 나타난 결과로 보인다. 비트리파이드試驗片은 긋들粒子에 無機質接着劑를 혼합하여 고온에서 遊離化시켜 製造하므로 약간의 彈性이 있는 레지노이드試驗片보다 氣孔率이 높아지게 되어 AE의 發生이 높게 나타난 것으로 생각된다. 따라서, AE最大電壓 및 AE波의 振幅分布는 粒度가 크고 結合度가 높은 研削긋들일수록 크게 나타나며, 彈性이 낮고 氣孔率이 높은 研削긋들일수록 AE特性에 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

3.3 粒度 및 結合度가 AE n 및 AE N 에 미치는 影響

研削긋들과 같은 脆性材料의 경우에는 극심한 組織의 不均質性으로 인하여 精確한 破壞靱性值의 評價에는 어려움이 있다고 생각되므로, 粒度 및 結合度가 AE事象率(event count rate) n 및 AE事象總數(cumulative event counts) N 에 미치는 영향을 파악하여 檢討하였다. Fig. 10 및 Fig. 11은 粒度 #120 및 #220, 結合度 $J \sim O$ 의 비트리파이드試驗片의 굽힘試驗시에 일어나는 龜裂進展의 거동을 AE n 및 AE N 과 載荷時間(load time)과의 관계로 X-Y記錄計에 기록한 것이며, Fig. 12 및 Fig. 13은 비트리파이드試驗片의 粒度 및 結合度에 따른 AE N 과의 관계를 나타낸 것이다. N 및 n 은 동일 結合度의 경우, 粒度가 작은 試驗片일수록 크게 나타나고, 동일 粒度의 경우에는 結合度가 높은 試驗片일수록 작은 값을 나타내며, 均열진전의 傳播速度는 粒度가 작고 結合度가 낮은 試驗片일수록 빨라지고 있음을 볼 수 있다. 이는 粒度가 큰 試驗片 내부에서 發生되는 均열의 進展이 粒界에 의하여

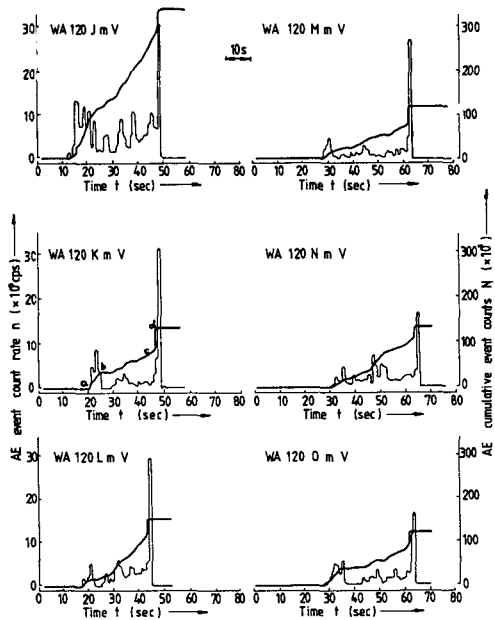


Fig. 10 AE event count rate n and AE cumulative event counts N versus time t when #120 grain size vitrified bond grinding wheels are tested by bending

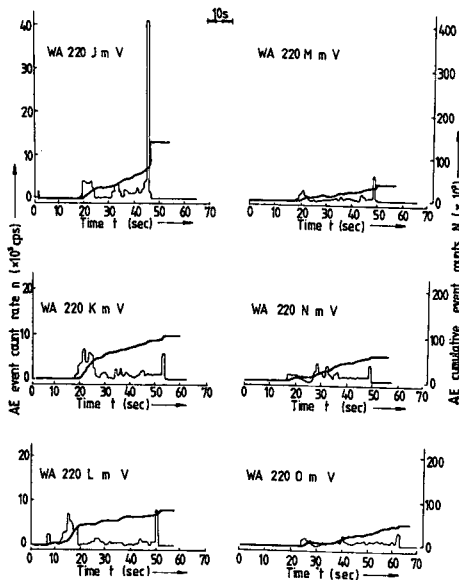


Fig. 11 AE event count rate n and AE cumulative event counts N versus time t when #220 grain size vitrified bond grinding wheels are tested by bending

저지되는 회수가 많아지게 되어 N 이 작은 값을 갖게 되는 것으로 생각되며, 結合도가 높은 試驗片일수록 結合劑率이 높아지므로 bond bridge의 補強效果가 커져 實効值電壓 RMS_{AE} 는 破壊強度와 더불어 증가하지만, 結合劑의 量이 증가함에 따라 숫돌粒子를 피복하고 있는 結合劑의 有効斷面積이 증가하므로 AE의 傳播特性을 둔화시켜 N 값이 작

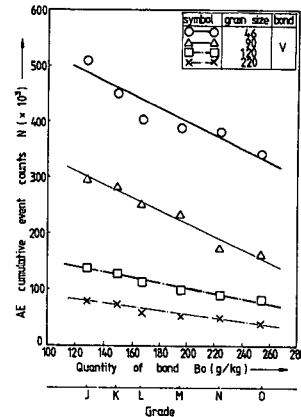


Fig. 13 AE cumulative event counts N versus grade for four grain sizes vitrified bond grinding wheel specimens-bending test
(a) WA 120 J m B (b) WA 220 J m B

게 나타난 것으로 생각된다. Fig. 10 및 Fig. 11은 AE의 발생패턴(pattern)을 나타낸 것으로, AE에너지가 어느 臨界値에 도달하기 전까지(0~a 區間)는 AE의 발생을 거의 볼 수 없고, 龜裂의 開始點(a) 즉, 安定破壞를 개시할 때의 AE事象率은 粒度가 작고 結合도가 낮은 試驗片일수록 急速히 큰 값으로 나타났으며, b~c區間에서는 균열의 전파에 수반하는 AE의 不規則인 變動이 관찰되고, 이와같은 불안정균열성장은 粒度가 크고 結合도가 높은 試驗片일수록 낮은 AE信號로 檢出되었다. 또한, c~d區間에서는 巨視的龜裂成長과 더불어 非彈性變形이 크게 나타나며, 급속히 變化하여 N 및 n 이 급격히 큰 값을 나타내고, d點에서 破斷이 일어남을 알 수 있다. 粒度가 크고 結合도가 높은 試驗片이 粒度가 작고 結合도가 낮은 試驗片보다 AE事象率은 작지만, 載荷時間은 다소 긴 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 延性材料가 延性分裂形의 安定龜裂進展에 따라 小振幅의 連續인 AE로 檢出되며, 巨視的龜裂傳播라기보다는 微視的破壞 또는 破面의 形成에 수반하는 塑性變形이 직접 AE發生源으로 된다⁽¹⁶⁾는 結果와 相反되는 것으로, 研削숫들은 大振幅의 AE로 檢出되고, 거시적균열 전파가 斷續적으로 급속히 진전하며, 이것이 研削숫들의 AE傳播特性이라고 생각된다.

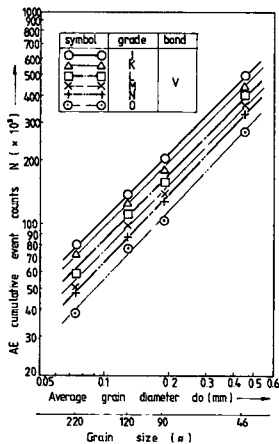


Fig. 12 AE cumulative event count N versus average grain diameter d_0 for six grades vitrified bond grinding wheels specimens-bending test

따라서, AE事象率로부터 불안정균열성장의 개시점을 研削숫들의 初期降伏強度, 불안정균열성장 영역을 숫돌粒子의 破碎 또는 脫落이 일어나는 過

Table 2 Results of the fracture strength test

Specimens	Tensile strength σ_t (kgf/mm ²)	Compressive strength σ_c (kgf/mm ²)	Strength ratio $R_{ct} (\sigma_c/\sigma_t)$	$r = (\frac{a}{b})$	θ°	V°
WA 46 JmV	0.774	5.582	7.561	8.997	32.211	3.633
WA 90 JmV	1.060	6.128	5.782	4.056	36.211	18.632
WA 120 JmV	1.142	6.398	5.602	3.645	35.729	20.187
WA 220 JmV	1.245	8.435	6.775	8.450	33.393	10.177
WA 46 JmB	1.534	7.421	4.838	2.423	39.001	27.002
WA 90 JmB	1.686	7.853	4.658	2.219	39.543	28.630
WA 120 JmB	2.159	8.333	3.860	1.514	42.065	36.195
WA 220 JmB	2.353	10.009	4.254	1.825	40.803	32.410

負荷狀態, 그리고, 巨視的龜裂傳播의 開始點을 研削숫들의 破壞條件으로 推定할 수 있으며, 載荷時間 및 AE波發生의 持續時間으로부터 研削숫들의 壽命은 粒度가 크고 結合度가 높은 것일수록 우수하다고 豫測할 수 있다.

3.4 研削숫들의 破壞條件

研削숫들의 力學的 舉動을 뒷받침하는 理論的 研究로는 多孔質脆性體인 질코니아의 構造를 2次元橢圓孔으로 假定하고, 2軸應力場解析理論으로 破壞條件을 提示한 Babel과 Sines의 研究가 알려져 있다⁽⁹⁾. 이제까지의 實驗結果로부터 研削숫들의 破壞強度는 平均粒徑에 의존함을 알 수 있으나, 숫들粒子 사이에 形成된 氣孔의 形狀·치수에 關係되는 것으로 생각할 수도 있다. 따라서, 다음과 같은 方法으로 Babel과 Sines의 理論式⁽⁹⁾

$$\frac{\sigma_1 + (r-1)\sigma_2}{3r+1} \geq 0 \text{ 일 때}$$

$$\sigma_1 = \sigma_t - \sigma_c(R_{ct}-8) / (R_{ct} + 4 + 4\sqrt{R_{ct}+1}) \quad (5)$$

$$\frac{\sigma_1 + (r-1)\sigma_2}{3r+1} \leq 0 \text{ 일 때}$$

$$\sigma_1 = \frac{1}{2}(2\sigma_2 - \sigma_c + \sqrt{\sigma_c^2 - 8\sigma_c \cdot \sigma_2}) \quad (6)$$

중의 r 및 R_{ct} 를 구하고, 式(5) 및 式(6)에 의하여 研削숫들의 破壞條件을 實驗的으로 檢討하였다. 單軸引張試驗 및 單軸壓縮試驗을 實施하여 얻은 壓縮強度 σ_c 와 引張強度 σ_t 의 比로부터 R_{ct} 를 구하고, R_{ct} 값을 다음 式(7)에 代入하여 氣孔의 形狀을 나타내는 橢圓孔의 長-短徑比 r 값을 결정하였다.

$$r = \frac{a}{b} = \frac{-R_{ct} + 2 - 2\sqrt{R_{ct}-1}}{R_{ct}-8} \quad (7)$$

Table 2는 結合度 J 의 비트리파이드 및 레지노이드試驗片의 引張 및 壓縮試驗結果를 나타낸 것이고, Fig. 15 및 Fig. 16은 이들 實驗結果를 2軸應力



(b) WA 220 J m B



(a) WA 120 J m B

Fig. 14 Microstructure of resinoid bond grinding wheel specimens

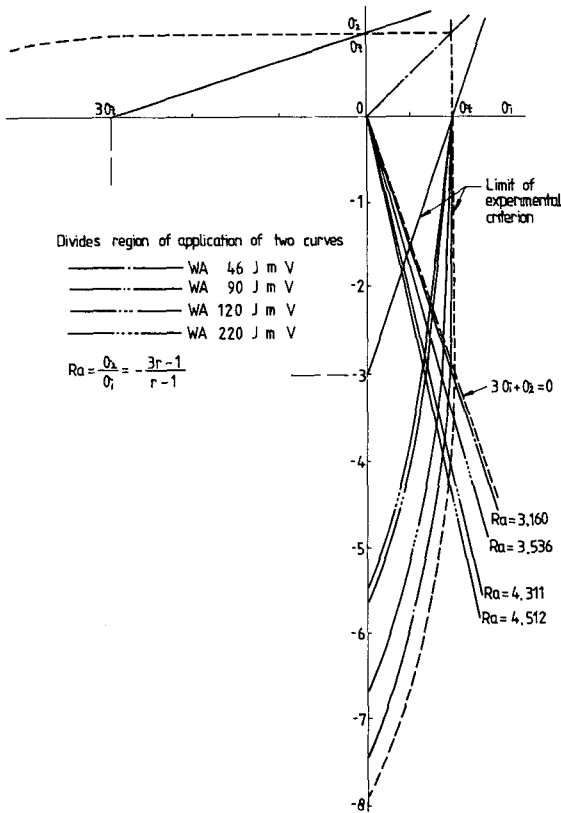


Fig. 15 Experimental failure criteria for a J-grade vitrified bond grinding wheel under biaxial stressing based on Griffith's equation

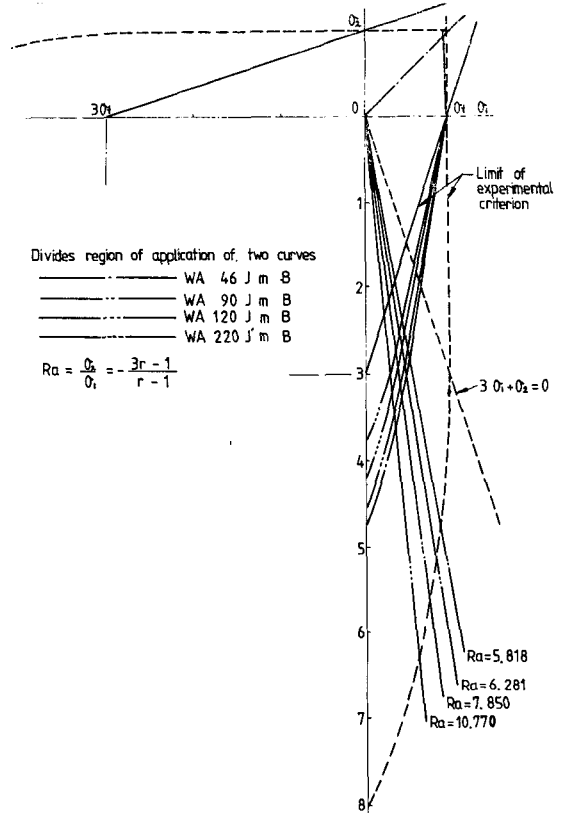


Fig. 16 Experimental failure criteria for a J-grade resinoid bond grinding wheel under biaxial stressing based on Griffith's equation

場解析結果에 적용시켜 破壞條件의 범위를 表示한 것이며, Fig. 14는 研削숫돌의 組織寫眞이다.

Table 2에서 θ^0 는 橢圓孔의 長軸과 壓縮軸이 이루는 角이고, V^0 는 橢圓孔의 長軸에 대한 最大主應力의 方向을 나타내는 角이다. θ^0 및 V^0 는 r 의 cosine函數이며, 레지노이드試驗片이 비트리파이드試驗片보다 큰 값으로 나타났다. Fig. 15 및 Fig. 16에서 레지노이드試驗片의 破壞條件의 범위는 비트리파이드試驗片보다 작은 경향을 보이고 있고, 粒度에 따른 破壞條件의 범위는 Fig. 14의 조직사진에 나타난 바와같이 숫돌粒자와 거의 같은 크기를 갖는 氣孔이 랜덤(random)하게 分布되어 있어 一定하지는 않으나 平均粒徑이 큰 粒度 #46의 試驗片이 가장 큰 破壞條件의 범위를 나타내고 있다. 그리고, 레지노이드試驗片은 R_{ct} 의 값이 3.860~4.838로 圓孔에 대한 破壞條件인 $R_{ct}=3$ 에 가까우며, 비트리파이드試驗片은 R_{ct} 의 값이

5.602~7.561로 균열에 대한 破壞條件인 $R_{ct}=8$ 에 近似함을 볼 수 있다.

이것은 氣孔의 形狀 및 치수를 결정해 주는 平均粒徑의 크기와 結合劑의 量 그리고, 結合劑種이 研削숫돌의 破壞條件을 左右하는 중요한 因子임을 나타내 주는 것으로, 氣孔의 長-短徑比 r 값을 單軸引張 및 單軸壓縮試驗으로 구하여 破壞條件을 推定할 수 있으며, 研削숫돌의 構造를 橢圓孔을 가진 多孔質脆性體로 假定하고 實驗한 結果가 2軸應力場解析結果와 一致하고 있음을 알 수 있다.

3.5 研削숫돌의 破壞強도와 RMS_{AE}

Fig. 17의 (a), (b), (c), (d)는 粒度 #46, #90, #120, #220, 結合度 $J \sim O$ 의 비트리파이드 및 레지노이드試驗片에 대한 引張, 壓縮, 굽힘 및 壓裂試驗結果로부터 얻은 實効值電壓 RMS_{AE} 와 破壞強度와의 關係를 나타낸 것이다. RMS_{AE} 는 破壞強度

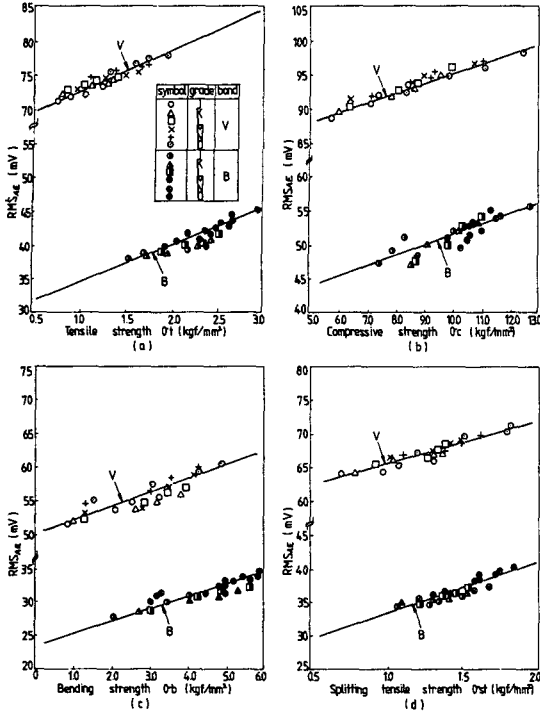


Fig. 17 RMS_{AE} versus fracture strength for vitrified and resinoid bond grinding wheel specimens

의 값이 증가함에 따라 직線的으로 증가하며, 비트리파이드試驗片이 레지노이드試驗片보다 큰 절편을 가지고 있지만, 기울기는 거의 같음을 볼 수 있다. 이와같은 研削숫들의 破壞强度和 RMS_{AE} 의 1:1對應關係는 研削숫들의 破壞强度에 대한 AE의 定量的評價의 可能性을 나타내고 있다.

4. 結 論

WA系 비트리파이드 및 레지노이드結合劑研削숫들試驗片에 대하여 AE計測시스템을 이용한 各種强度試驗을 실시하고, 研削숫들의 諸因子와 破壞强度 및 AE信号와의 關係를 比較, 考察한 結果는 다음과 같다.

(1) 研削숫들의 破壞强度는 平均粒徑의 약 $-0.2 \sim -0.3$ 乘에 비례하고, RMS_{AE} 는 平均粒徑의 약 $-0.03 \sim -0.05$ 乘에 비례하였다. 비트리파이드結合劑의 研削숫들이 레지노이드結合劑의 研削숫들보다 破壞强度의 값은 작으나, RMS_{AE} 는 약 1.75~1.88배 크게 나타났다.

(2) 平均粒徑이 작고 結合度가 높은 研削숫들일

수록 AE最大電壓 및 AE波의 振幅分布가 높게 나타나고, AE波發生의 持續時間도 길며, 彈性이 낮고 氣孔率이 높은 研削숫들이 AE波形特性이 높다.

(3) AE事象率 및 AE事象總數는 粒度가 작고 結合度가 낮은 研削숫들일수록 큰 값을 나타내었다.

(4) 彈性이 높고 氣孔率이 낮은 研削숫들은 圓孔에 관한 式으로, 彈性이 낮고 氣孔率이 높은 研削숫들은 均열에 관한 式으로 破壞條件을 推定할 수 있다.

(5) 研削숫들의 破壞强度和 RMS_{AE} 는 比例關係가 成立함으로 AE의 定量的評價의 可能性을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- (1) N.D. Eiss, JR, 1967, "Fyacture of Abrasive Grain in Grinding", Trans. ASME, J. Eng. Ind., pp. 463~470.
- (2) S.J. Deutsch and S.M. Wu, 1970, "Selection of Sampling Parameters for Modeling Grinding Wheels", Trans. ASME, J. Eng. Ind., pp.667~676.
- (3) 松井正己, 壓司克雄, 1977, "砥粒切れ刃の破碎強さについて", 精密機械, 第43卷, 第2號, pp.181~186.
- (4) B.Bartalucci and G.G. Linsini, 1969, "Grinding Process Instablity", Trans. ASME, J.Eng. Ind., pp. 597~606.
- (5) R.A.Thompson, 1974, "On the Doubly Regenerative Stability of a Grinder", Trans. ASME, J. Eng. Ind, pp.275~280.
- (6) G. Gawalk, 1984, "Some Problems Connected with Balancing of Grinding Wheels", Trans. ASME, J. Eng. Ind., Vol.106, pp.233~236.
- (7) 海野邦昭, 篠崎襄, 1977, "Griffith 理論に基づく研削砥石の破壞强度の解析", 精密機械, 第43卷, 第4號, pp.415~420.
- (8) B.Brestler and K.S. Pister, 1955, "Failure of Plain Concrete under Combined Stresses", Proceedings of the ASCE, Vol. 81, pp.674-1~674-17.
- (9) H.W. Babel and G. Sines, 1968, "A Biaxial Fracture Criterion for Porous Brittle Materials", J.Basic Eng., pp.285~291.
- (10) 宮本 博, 本間恭二, 1974, "線型破壞力學による砥石の破壞の研究", 精密機械, 第40卷, 第7號, pp. 577~582.
- (11) D.Dornfeld and He Gao Cai, 1984, "An Investi-

- gation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission", Trans. ASME, J. Eng. Ind., Vol. 106, pp.28~33.
- (12) 江田 弘, 貴志浩二, 中島正幸, 垣野義昭, 藤原彰彦, 1984, "AEを用いた研削き裂のインプロセス検出", 精密機械, 第50巻 第8號, pp.1288~1293.
- (13) 江田 弘, 貴志浩二, 白井信行, 垣野義昭, 藤原彰彦, 1983, "アコースティックエミッションを用いた研削焼けのインプロセス検出", 精密機械, 第49巻, 第9號, pp.1257~1262.
- (14) 本間恭二, 木村 敬, 1986, "AE法を使用した研削砥石の結合度の測定", 精密工學會誌, 第52巻, 第7號, pp.1243~1247.
- (15) 垣野義昭, 1984, "切削・研削加工に對するAEの應用", 京都大學工學部報告, 006-70, pp.1~7.
- (16) H.N.G. Wadley, C.B.Scruby and G. Shrimpton, 1981, "Quantitative AE Source Characterization During Low Temperature Cleavage and Intergranular Fracture", Acta Metallurgica, Vol. 29, pp.399~406.