

난삭재의 고능률 연삭을 위한 연삭숫들의 개발에 관한 연구

(A Study on the Development of High Performance Grinding Wheel for the Difficult-to-Grind Materials)

조 기 수*, 이 종 찬**, 손 기 락***

* 금오공과대학교 기계설계공학과 대학원

** 금오공과대학교 기계설계공학과

*** 삼양연마공업주식회사

ABSTRACT

A new grinding wheel was developed for the high performance grinding of difficult-to-grind materials. The grinding performance (such as grinding forces, grinding ratio, and surface roughness of ground surface) of the newly developed wheel was evaluated through experiments. Experimental results show that the performance of the newly developed wheel is superior to conventional alumina wheel and comparable to the S-G wheel.

Key words : Grinding, Difficult-to-grind material, S-G wheel

1. 서론

연삭가공은 절삭가공에 의해서 성형된 공작물로부터 더 정밀한 치수와 표면을 얻기 위한 다듬질가공으로 많이 이용되어 왔다. 그러나 큰데에 와서는 연삭가공에 다듬질가공 기능뿐만 아니라 성형가공 기능까지 요구가 되면서 작업의 고능률화가 요구되고 있다. 또한 연삭하여야 하는 공작물이 점점 고경도화 되어가면서 이러한 난삭재의 가공에 적합한 연삭숫들의 개발이 절실히 요구되게 되었다.

이에 CBN과 인조다이아몬드와 같은 초연마재가 개발되어 일부 연삭에는 이를 활용하고 있으나, 지립자체가 매우 고가이고 이러한 초연마숫들을 효과적으로 사용하기 위해서는 고경도, 높은강성, 그리고 높은 마력의 전동기를 갖춘 전용연삭기가 요구되며, 특히 숫들의 트루잉과 드레싱이 매우 어렵다. 이에 따라 기존의 연삭기계로 특별한 드레싱 기술이 없어도 고능률화를 이루면서 비용도 초연마재에 비하여 낮은 새로운 입자의 개발이 필요하였다. 이러한 필요에 의해서 미국 Norton사에서 Sol-gel 알루미나 입자를 개발하여 난삭재의 고능률 연삭에 활용하고 있다.

Sol-gel 알루미나 숫들을 이용한 연삭에 관한 연구논문은 발표된 것이 많지 않다. Lindsay 와 Ault는 SG숫들의 특성 및 연삭유의 변화에 따른 SG휠의 연삭성능을 실험하여 일반 알루미나계 숫들보다 연삭성능이 우수함을 보였다.¹⁾ 또한 Kitamura는 SG숫들에 대한 강의 고능률연삭에 있어서 연삭

특성을 연구하였다.²⁾ 그리고 Tomita는 SG숫들의 특성 및 연삭성능을 연구하여 연삭성능이 일반 알루미나계숫들보다 6배 정도 우수하며 고능률연삭이 가능함을 보였다.³⁾ 이에 금오공과대학교는 국내유수의 연삭숫들 제작업체인 삼양연마공업주식회사와 합동으로 이러한 Sol-gel 알루미나 숫들에 필적할 만한 새로운 국산 숫들을 개발하는 과정에 있다. 본 논문에서는 이 개발품의 연삭성능을 앞서 소개한 미국 Norton사의 Sol-gel 알루미나숫들 및 일반 알루미나숫들의 성능과 비교한 내용을 소개한다.

2. 개발품의 제작

본 연구에서 개발하고자 하는 숫들의 입자는 SY입자(가칭)를 사용하였다. Fig.2는 SY입자, Sol-gel입자, 일반 알루미나계(WA, 32A)입자의 전자 주사현미경 사진을 보여주고 있다. 사진에서와 같이 종래의 알루미나계 입자는 단결정인데 비해 SY입자와 Sol-gel입자는 하나의 입자에 무수한 결정이 결합되어 있음을 볼 수 있다. 또한 SY입자의 결정은 불규칙한 다면체형이며, Sol-gel입자의 결정은 구형임을 알 수 있다.

숫들의 제작은 입도 60메시인 SY숫들입자와 32A입자를 각각 50%씩 혼합하고 여기에 기공재료와 결합제를 첨가하였다. 결합제는 Frit과 점토의 비트리피이드를 사용하였다. 위의 혼합비율로 성형하여 약 1,000°C에서 소성하여 I와 J의 결합도로 두가지 휠을 제작하였다.

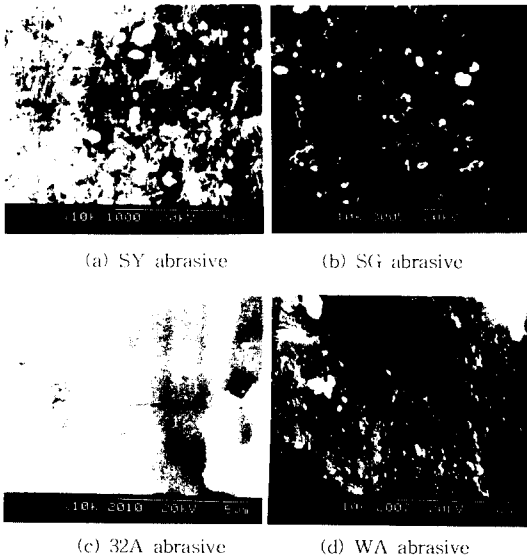


Fig. 1 SEM micrographs of abrasives

3. 실험장치와 방법

실험에 사용된 연삭기는 $1\mu\text{m}$ 까지 전입이 가능하도록 디지털 장치를 부착한 부분유압식 범용형축평면연삭기(YGS-50A, 수축동력1.5 kW)이다. 연삭시 슷들의 집선방향의 저항력(F_x)과 법선방향의 저항력(F_n) 측정을 위하여 테이블 위에 압전형 공구동력계(piezo-electric type, Kistler 9257B)를 설치하고 그 위에 지그를 부착하여 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 얻어지는 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)로 증폭되었고 이 증폭된 신호는 아날로그-디지털변환기 (Metradyte, DAS-16)를 거쳐 디지털화 되어 컴퓨터로 전송되었다. 개인용 컴퓨터에서는 Kistler cutting force Software를 이용하여 데이터를 분석하였다. Fig.2은 이러한 실험장치의 개략도이다. 슷들의 마모와 마모면적의 측정을 위하여는 공구현미경(Topcon TMM 130Z)에 C.C.D카메라를 부착하여 이미지 프로세싱 방법을 사용하였다. 공작물의 표면 거칠기 측정을 위해서는 접촉식 표면조도계(Kosaka, SE-3F)를 사용하였다. 피삭재는 높은 경화능을 지닌 SKD-11합금공구강을 170L×6W×50H로 제작한 후 로크웰 경도 60 Rc로 열처리하였다. SKD-11의 화학조성은 C 1.5%, Si 0.38%, Mn 0.5%, Cr 2.0%, Mo 1.0%, V 0.3%, Ni 0.45% 이다. 실험은 Table 1에 나타난 조건으로 플린지 연삭방식을 사용하여 건식 및 습식

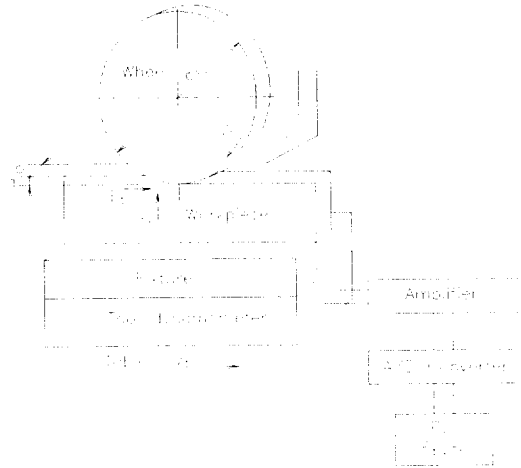


Fig. 2 Experimental system

연삭을 행하였다. 입자의 초기상태를 같게 하기 위하여 매 실험마다 연삭스틀을 드레싱하였다.

Table. 1 Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal type surface grinding machine Model : YGS-50A (1.5 kW, 3440 r.p.m)
Grinding wheels	5SY60JV } Developed wheels
	5SY60IV } Developed wheels
	5SG60JV } Norton Sol-gel wheels
	5SG60IV } Norton Sol-gel wheels
	32A60JV — Conventional Alumina wheel
Workpiece	SKD-11 (60 Rc) 170L × 6W × 50H
Grinding type	down & up cutting, wet & dry grinding, plunge grinding
Table speed	13.7 m/min
Depth of cut	$5\mu\text{m}$
Grinding fluids	Syntilo 9954 (Castrol , 70 : 1)
Dressing	one-point diamond dresser (3/4 ") depth of cut : $30\mu\text{m/pass}$ cross-feed : 0.11 mm/rev dressing passes : 3 wet type

4. 실험결과 및 고찰

먼저 Fig. 3은 개발품인 SY숫돌, Norton SG숫돌, 그리고 일반 알루미늄계 숫돌을 사용하여 건식연삭을 했을 때의 연삭지항력을 보여준다. Fig. 3에서 32A숫돌은 30 pass에서 연삭지항력이 급증하여 각 pass마다 힘이 심하게 변동하면서 증가하여 150 pass 이상에서는 숫돌과 공작물사이에 심한 소음과 진동으로 연삭이 더이상 불가능하였다. 개발품인 5SY숫돌의 연삭지항력은 결합도 J면에서 기존 알루미늄계 32A숫돌보다 훨씬 낮고 Norton SG숫돌보다는 약간 높게 나타났다. 결합도 I면에서는 SG숫돌과 거의 비슷한 연삭지항력을 보이고 있다. Fig. 4는 습식연삭에서 각 숫돌의 연삭지항력을 나타내고 있다. 개발품인 SY숫돌은 결합도 I면, J면 공히 Norton SG숫돌과 비슷한 연삭지항력을 보이고 있다. 이상의 연삭지항력의 비교에서 개발품인 SY숫돌의 연삭지항력은 기존 알루미늄계 32A숫돌보다 훨씬 낮고 Norton SG숫돌과는 비슷한 경향을 나타내었다.

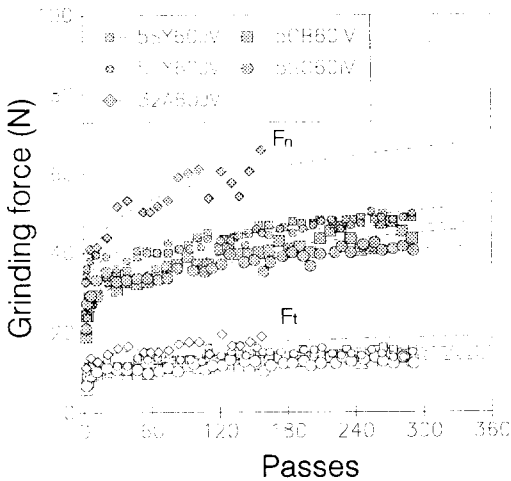


Fig. 3 Grinding forces versus passes
Grinding depth : $5\mu\text{m}$, plunge grinding, dry

다음으로 각 숫돌의 마모를 비교하기 위하여 이미지 프로세싱방법으로 마멸마모면적을 측정하였다. Fig.5는 숫돌의 마멸 마모면적을 측정하기 위한 영상처리 사진을 나타낸다. 이를 위하여 공구현미경에 CCD카메라를 부착하여 영상을 잡아 컴퓨터의 이미지 프로세싱 소프트웨어를 이용하여 영상처리하여 숫돌 표면의 전체면적에 대한 입자의 마멸마모 면적의 비를 백분율로 계산하였다. Fig.5의(a)는 영상처리전의 사진이고, (b)는 영상처리후의 사진이다.

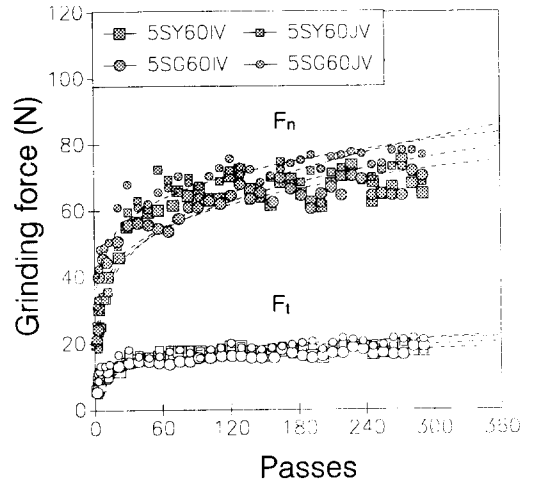


Fig. 4 Grinding forces versus passes
Grinding depth : $5\mu\text{m}$, plunge grinding, wet



(a) before image processing (b) after image processing
Fig. 5 Photographs of wear flats

Fig.6과 Fig.7은 이미지 프로세싱 방법을 이용하여 측정된 각 숫돌의 마멸마모 면적율을 나타낸 그림이다. Fig.6의 건식연삭에서 개발품인 5SY숫돌은 결합도 I면에서는 Norton 5SG숫돌과 비슷한 마모면적율을 보이고 있으나 결합도 J면에서는 약간 높게 나타나고 있다. 32A숫돌은 두 숫돌에 비해 낮은 마모면적율을 보이고 있다. Fig.7의 습식연삭에서는 개발품인 5SY숫돌의 마모면적율이 Norton 5SG숫돌보다 훨씬 낮게 나타나고 있다.

Fig.8과 Fig.9는 각 숫돌별 연삭비를 나타낸 그림이다. 연삭숫돌의 마멸정도는 공작물의 형상오차 및 생산성 향상에 크게 영향을 미친다. 연삭비는 공작물의 총체거랑에 대한 연삭숫돌 마모 체적의 비로 나타낸다. 연삭숫돌의 만경 감소량은 실험전의 숫돌표면과 연삭후의 숫돌표면을 $1\mu\text{m}$ 까지 측정 가능한 공구현미경으로 측정하였다.

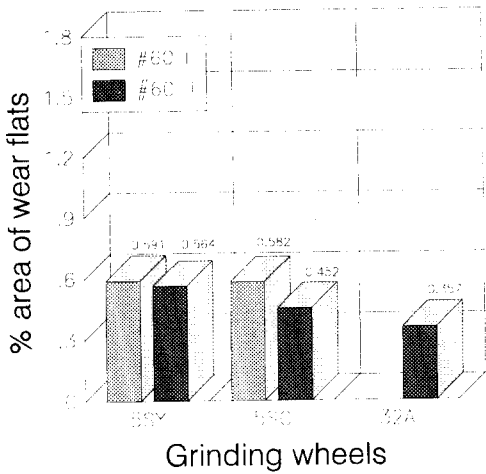


Fig. 6 % area of wear flats versus grinding wheels (dry grinding)

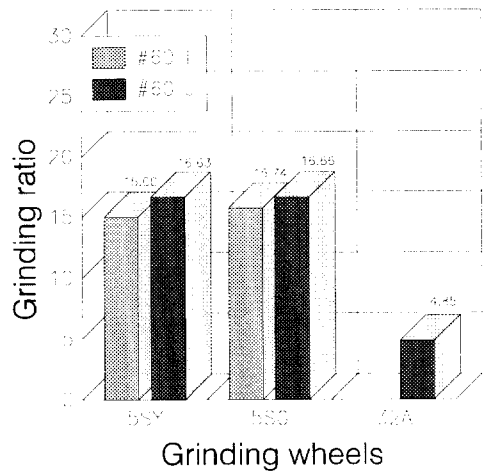


Fig. 8 Grinding ratio versus grinding wheels (dry grinding)

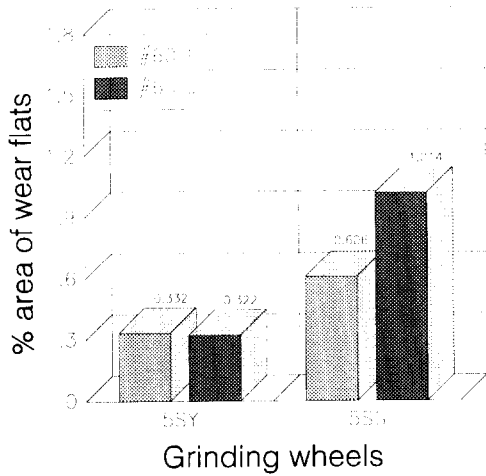


Fig. 7 % area of wear flats versus grinding wheels (wet grinding)

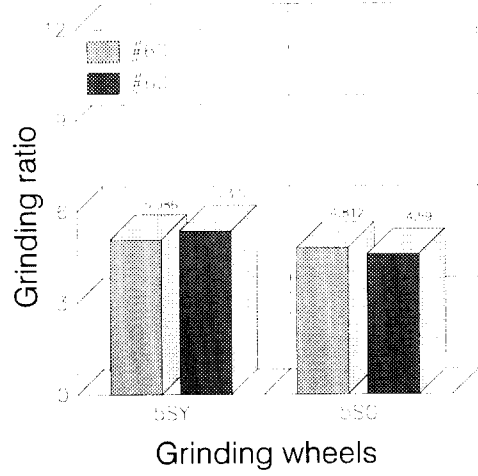


Fig. 9 Grinding ratio versus grinding wheels (wet grinding)

Fig.8의 건식연삭의 경우 결합도 1면에서 5SY숫돌의 연삭비는 15로 Norton 5SG숫돌의 연삭비 15.74와 거의 비슷하고, 결합도 2면에서는 5SY의 연삭비가 16.6으로 기존 알루미늄이나 32A숫돌의 연삭비 4.8에 비해 3.5배 정도 높으며, Norton 5SG숫돌과도 16.6으로 꽤 동일하게 나타났다.

Fig.9의 습식연삭에서는 결합도 1면, 2면 공히 개발품인 5SY숫돌의 연삭비가 Norton 5SG숫돌의 연삭비보다 약간 높게 나타났다.

Fig.10과 Fig.11은 연삭후 연삭진행방향의 공작물 표면 거칠기를 나타낸다. Fig.10의 건식연삭의 경우 개발품인 5SY숫돌의 연삭후 공작물의 표면 거칠기는 Norton 5SG숫돌보다 약간 양호하고 기존 알루미늄이나 32A숫돌이 가장 낮은 수치를 나타내고 있다. Fig.11의 습식연삭의 경우의 공작물 표면거칠기는 5SY숫돌과 5SG숫돌이 비슷하게 나타났다.

Fig.12와 Fig.13은 앞의 데이터를 이용하여 각 숫돌의 연삭 성능을 보다 쉽게 평가할 수 있는 하나의 그래프로 나타낸 것이다. 즉 각 숫돌의 비연삭에너지와 연삭비를 동시에 한 그래프

래프에 나타내어 상호비교가 쉬도록 하였다.

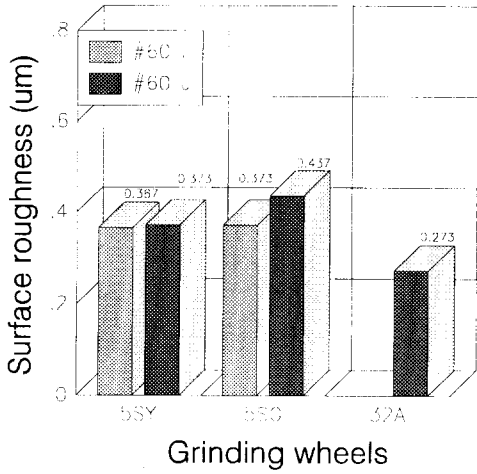


Fig. 10 Surface roughness versus grinding wheels (dry grinding)

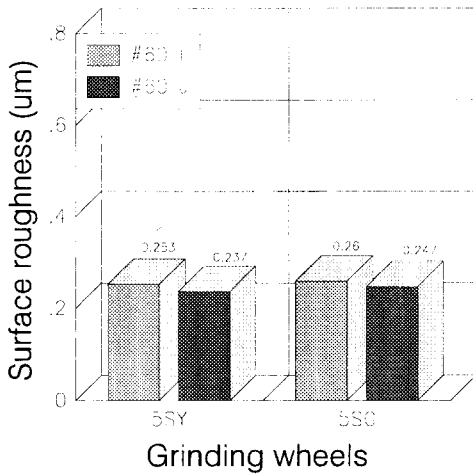


Fig. 11 Surface roughness versus grinding wheels (wet grinding)

Fig.12의 건식연삭인 경우 개방품인 5SY숫돌과 Norton 5SG숫돌을 비교해 볼 때 5SY숫돌의 래프가 5SG숫돌의 래프보다 약간 좌측에 위치하고 있다. 즉 5SY숫돌은 5SG숫돌에 비해 비연삭에너지는 약간 높고 연삭비는 약간 낮음을 나타낸다. 기존 알루미늄재 32A숫돌의 메이타는 5SY숫돌과 5SG숫돌보다 좌측에 멀리 위치하고 있어 연삭성능이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다. Fig.13의 습식인 경우는 5SY숫돌이 5SG숫돌보다 우측에 위치하고 있어 5SY숫돌이 5SG숫돌보다

비연삭에너지는 낮고, 연삭비는 높아서 연삭성능이 더 우수한 것을 쉽게 알 수 있다.

이로서 연삭비에 대한 비연삭에너지의 비교에 있어서 건식인 경우는 Norton SG숫돌이 개방품인 5SY숫돌보다 약간 우수하고 습식인 경우는 5SY숫돌이 5SG숫돌보다 약간 우수하다.

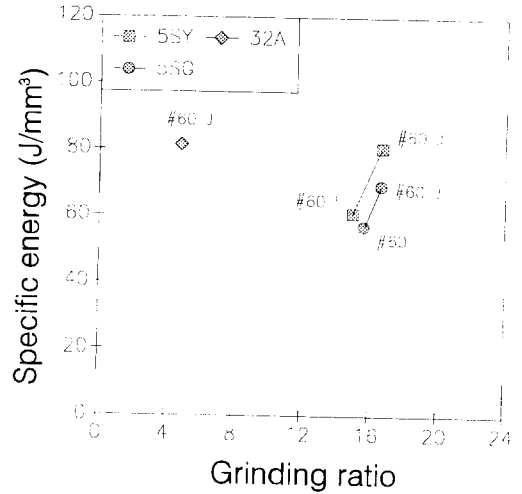


Fig. 12 Specific energy versus grinding ratio (dry grinding)

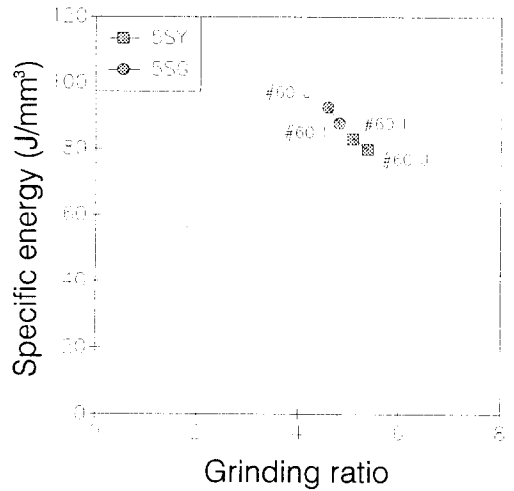


Fig. 13 Specific energy versus grinding ratio (wet grinding)

5. 결론

이상의 실험을 통하여 난삭재의 고능률연삭을 위한 개발품인 5SY숫돌의 연삭성능을 기존 알루미늄계 32A숫돌 및 Norton SG숫돌과 비교평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 개발품인 5SY숫돌이 Norton 5SG숫돌에 비하여 건식연삭인 경우는 연삭지향력은 약간 높게 그리고 연삭비는 약간 낮게 나타났으며 습식연삭인 경우는 연삭지향력은 약간 낮게 그리고 연삭비는 약간 높게 나타났다. 이러한 성능은 기존의 알루미늄계 32A숫돌보다 월등히 우수한 것이다.
- 2) 마모면적용 비교에 있어서는 건식에서는 5SY숫돌과 5SG숫돌이 비슷하였으나 습식인 경우는 5SY숫돌이 5SG숫돌보다 낮았다.
- 3) 표면거칠기 비교에 있어서는 건식연삭에서는 5SY숫돌이 약간 양호하나 습식에서는 5SY숫돌과 5SG숫돌이 비슷하였다.
- 4) 위의 결과로부터 개발품인 5SY숫돌의 연삭성능이 기존 32A숫돌보다 훨씬 우수하며 5SG숫돌과는 거의 비슷하여 난삭재의 고능률 연삭에 효과적으로 사용될 수 있음을 알 수 있다.

후기

본 연구는 남오광과대학교 산학연 컨소시엄 사업으로 수행되었습니다. 관계자 여러분과 참여업체인 삼양원마공업주식회사에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Lindsay, R., Ault, W., 'The performance of Seeded Gel abrasive in lab and field sites' SME, 1988, p. 606, 3rd International Conference, Fontana, Wisconsin.
- 2) 富田幸男, 盆子原 一, 山内勝利, 'SG ホイールによる 高能率研削', 機械と工具, 1990, 6, p. 45.
- 3) 北村福男, 五反田健二, 'SGアルミナ系砥石による鋼の高能率研削', JSPE, vol. 58, no. 4, p. 583.