

전해 인프로세스 드레싱법 (ELID)을 이용한 철강재료의 고능률 원통연삭

이 득 우,* 高橋一郎,** 大森整,** 中川 威雄**

High Efficient Cylindrical Grinding of Ferrous Materials Using Electrolytic In-process Dressing Method(ELID)

Deug Woo Lee,* I. Takahashi,** H. Ohomori,** T. Nakagawa**

ABSTRACT

This paper provides a highly efficient grinding for ferrous materials using ELID-grinding method. The grinding efficiency using ELID grinding method with CIFB-cBN wheel and CB-cBN wheel is compared with general grinding method with V-cBN wheel. This paper measured grinding ratio for plunge grinding and grinding resistance for traverse grinding in order to investigate grinding ability. The results show that ELID grinding methods is useful for the high efficient grinding of ferrous materials.

Key Words : ELID Grinding Method(전해인프로세스연삭법), CIFB-cBN(주철파이바본드 cBN숫돌), CB-cBN(코발트본드 cBN숫돌), V-cBN(비트리파이드본드 cBN숫돌), Efficient Grinding(능률연삭), Grinding Ratio(연삭비)

1. 서 론

최근 산업의 발달과 함께 제품의 고정도화, 다양화, 생산성 향상 등의 요구에 의해 연삭가공에 있어서도 고능률 고정도가공이 주목되고 있다.

특히 정밀기기산업, 자동차산업 등에 사용되고 있는 정밀부품 가공에서는 가공정도와 가공능률이 동시에 달성되는 것에 대한 요구가 많지만, 기존의 연마방법은 가공정도와 가공능률에 한계가 있었다. 그런데 연삭가

공에서 고능률 고정도가공의 한가지 방법으로 “전해 인프로세스드레싱 (Electrolytic In-Process Dressing ; ELID)연삭법”이 개발되어 고강도 메탈본드숫돌을 이용하여 초경합금, 세라믹재료등의 경취성재료를 고품위 가공하고 있다.^(1,2,3)

ELID연삭법이란 숫돌의 다이아몬드나 cBN등의 연삭입자를 결합하고 있는 금속결합재를 전기분해에 의해 적당량 제거하여 일반적인 연삭과 같이 연삭입자를 연속적으로 돌출시켜 가공이 유지되도록 하는 연삭방법으

* 한국기계연구원

** 理化學研究所

로 가공중 드레싱이 가능함에 따라 매우 고온입자의 슷들을 이용한 경면연삭이 가능하고, 또한 금속결합체의 강도가 높기 때문에 특히 경한 재료의 가공에 큰 장점을 가지고 있다. 이러한 장점에 기인하여 ELID연삭법을 이용한 초경합금, 세라믹재료 등의 경면가공 및 고능률가공에 관련한 연구결과는 다수 발표되고 있으나, 일반적으로 산업에서 가장 널리 사용되고 있는 철강재료에 대해서는 슷들의 결합재인 주철과의 친화력때문에 가공의 어려움 등으로 가공능률, 가공정도 등의 특성평가 자료가 부족한 상태이다.

그러므로 본 연구에서는 ELID연삭법을 이용하여 원통연삭에서 철강재료의 고능률 가공특성을 살펴보고, 연삭능률을 평가하여 일반연삭법과의 차이와, 가공자료를 제시하고자 한다. 이를 위해 주철파이바본드스� 및 코발트본드스�에 의한 ELID연삭과 비트리파이드본드스�에 의한 일반연삭과의 연삭능률을 비교한다. 또한 원통연삭에서의 가공능률을 평가하기 위한 가공중의 범선방향 연삭저항 측정방법을 제시한다.

2. ELID연삭의 메카니즘

전해 인프로세스연삭법은 전해드레싱에 의해 슷들날을 세우는 방법으로 초기에 전해작용에 의해 산화피막이 생성되고, 산화피막이 연삭중 파괴됨에 따라 새로운 슷들날이 형성되어 연속적으로 연삭가공이 가능하게 된다. Fig. 1은 ELID연삭의 메카니즘을 도식적으로 보여주고 있으며, ELID연삭에서의 전형적인 전류 및 전압의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 전류값의 변화는 트루잉 후 절연피막이 전혀 없는 상태에서는 4A 정도의 전류가 흐르게 되며, 초기 드레

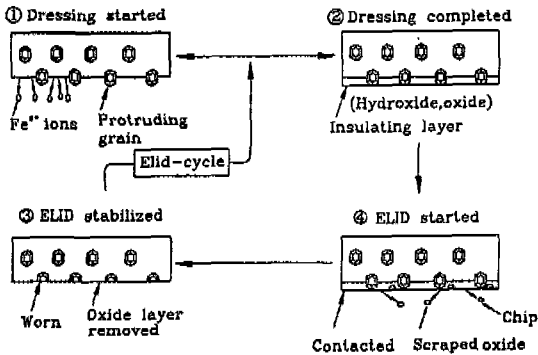


Fig. 1 Mechanism of ELID grinding

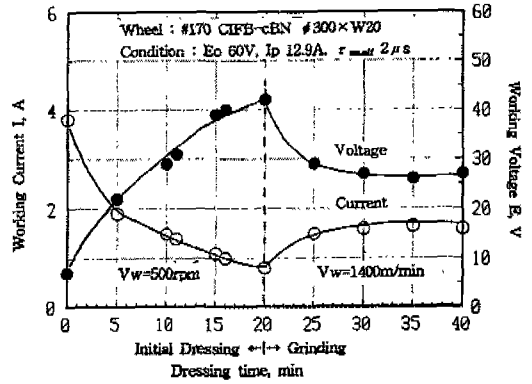


Fig. 2 Electrical behavior of ELID grinding

싱이 완료되어 절연피막이 형성됨에 따라 1A이하의 전류가 걸려 안정적으로 된다. 그 이후 연삭이 시작되면 절연피막이 가공에 의해 파괴됨에 따라 다시 전류값은 약간 상승되어 1.5A정도에서 안정적으로 전해 인프로세스연삭이 이루어지게 된다.

3. 실험장치

Fig. 3은 일반적인 원통연삭기에 ELID연삭법을 적용한 실험장치를 보여주고 있고, Fig. 4는 실험장치의 구성도이다. 실험은 스트레이트스�을 사용하는 원통연삭기(GP24-R:OKUMA Co.)에 ELID전원장치(EDP-30ST:新東브레이타 Co.)를 설치하고, 슷들로 주철파이바본드-cBN(CIFB-cBN), 코발트본드-cBN(CB-cBN) 및 비트리파이드본드-cBN(V-cBN)을 사용하여 수행한다. Table 1은 연삭실험의 제원을 보여주고 있다.

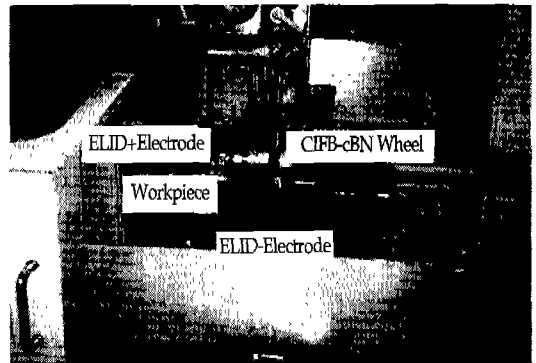


Fig. 3 Appearance of ELID grinding machine

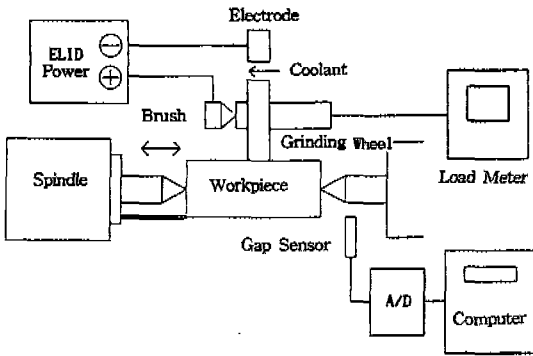


Fig. 4 Schematic drawing of experimental setup

ELID용 전극은 슷들의 원주에 1/6크기로 제작하였고, 재질은 흑연으로 되어 있다. ELID전원은 60V로 펄스전원을 사용하였으며, on, off시간은 2 μ s로 하였다.

전원은 슷들에 +전원을 연결하고, 흑연전극에 -전원을 연결한다. 전극과 슷들사이의 간극은 약 0.1 mm로 유지시키고, 전극의 내부와 슷들의 회전방향으로 전극의 선단부에서 연삭액을 공급한다.

연삭액은 수용성 연삭액에 일반적인 가정용 수도수를 50배 희석하여 사용한다.

4. 실험방법

본 실험에서는 원통연삭에서의 가공능률을 평가하기 위하여 가공중의 접선 및 법선방향의 연삭저항과 연삭비를 측정한다.

Fig. 4에 연삭저항 측정시스템을 나타내었다. 법선

Table 1 Specification of ELID grinding system

1. Grinding Machine	Cylindrical Grinder : GP-24R, 7.5kW[OKUMA Co.]	
2. ELID Grinding	Grinding Wheel	CIFB-cBN, CB-cBN Wheel(Straight type, $\phi 300 \times W20, \#170$, Conc.100)[Shinto B. Co.]
	Power Supply	EPD-30ST[Shineto B. Co.]
	Fluid	Noritake cool AFG-M+Tap Water(1:50)
3. General Grinding	Grinding Wheel	V-cBN Wheel(Straight type, $\phi 300 \times W10, \#170$, Conc.100)[NORITAKE Co.]
4. Work-piece	Ferrous Materials	$\phi 300 \times L100$, SKH51(HRc58), SUJ2(HRc63)
5. Others	Measurement Grinding Resistance	Distance measurement sensor EX-201, Resolution 0.4 μ m [KEYENCE Co.]
	Surface Roughness Tester	Mytutoyo 501

방향 연삭저항은 와전류식 변위센서를 그림과 같이 양 센타의 한쪽편에 설치하여 센타가 연삭력에 의해 법선 방향으로 밀리는 변위를 측정하여 연삭저항을 산출하였다. 접선방향 연삭저항은 원통연삭기의 부하계에 의해 측정하였다.

연삭비는 슷들의 마모량과 공작물 제거량의 비에 의해 얻어진다. 슷들의 마모량은 슷들단면의 일부분을 사용하여 연삭을 수행하여 슷들면에 단차를 형성하고, 그 슷들면의 형상(단차)을 공작물에 전사시켜 표면조도계에 의해 단차량을 측정한다. 공작물의 제거량은 가공후 공작물의 직경변화를 마이크로메타로 측정하여 얻었다.

가공실험은 플런지연삭과 트래버스연삭을 수행하였으며, 플런지연삭에서는 슷들폭 5mm로 가공하였다. 연삭 가공은 우선 슷들을 GC#60에 의해 트루잉을 한 후, ELID연삭의 경우 전해조건 Eo60V, Ip12.9A, $\tau_{on}2\mu s$, $\tau_{off}2\mu s$ 로 하여 초기 드레싱을 하였으며, 일반연삭의 경우 스틱스틀(WA#100)에 의해 초기 드레싱하여 수행하였다.

5. 실험결과 및 고찰

Table2 와 Fig. 5는 플런지연삭에서 #170CIFB-cBN스틀(ELID적용)과 #170V-cBN스틀에 의한 SUJ2재(HRc63)의 연삭특성을 보여주고 있다.

Table2는 이송속도(가공능률)와 연삭비의 관계를 나타내었다. CIFB-cBN에 의한 ELID연삭에서는 이송속도를 0.25로 높게 해도 연삭비의 변화가 거의 없었으나, 그 이상 속도를 높일 경우에는 연삭이 불가능하였다. 한편 V-cBN스틀에 의한 일반연삭에서는 이송속도를 높게 하면 할수록 연삭비가 급격히 떨어지고, 연삭비는 연삭능률에 영향이 큰 것을 알수있다. V-cBN스틀에 의한 일반연삭의 경우, 이송속도 0.25이상에서는 연삭중 심하게 불꽃이 발생하며, 슷들의 마모가 급격하게 발생함을 볼 수 있었다. 그러므로 이송속도 0.25이상에서는 가공이 부적절함을 알수 있다.

Fig. 5는 V-cBN스틀을 사용한 일반연삭에서 연삭이 가능한 최대 연삭능률조건에서 장시간 가공하였을 때의 제거체적과 연삭비의 관계를 ELID연삭과 비교하여 나타내었다. CIFB-cBN스틀의 ELID연삭이 V-cBN스틀의 일반연삭보다 연삭비가 높고, 초기 드레싱 후의 연삭 초기에 연삭비가 상당히 높은 것을 볼 수 있다. 그리고 V-cBN스틀에 의한 일반연삭에서는 장시간

Table 2 Grinding ratio in high efficient grinding

Plunge Feed rate (mm/min)	ELID Grinding (CIFB-cBN)	General Grinding (V-cBN)
0.2	Gr=280	Gr=176
0.25	Gr=280	Gr=30
0.5	× (Impossible Grinding)	Gr=4
1.0	× (Impossible Grinding)	× (Impossible Grinding)

Grinding condition: Wheel#300,#170, Workpiece:SUJ2, $\phi 100 \rightarrow \phi 94$, V1400m/min, Nw50rpm

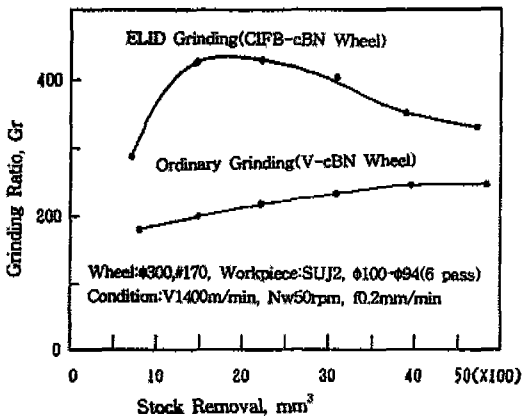


Fig. 5 Change of grinding ratio in high efficient grinding

가공하여도 연삭비의 변화가 적고 거의 일정하였다. 일반적으로 고능률연삭에서 스톨의 본드재료가 강한 금속 본드 스톨의 경우가 레진본드 또는 비트리파이드본드 스톨에 비해 연삭비가 높은 것으로 알려져 있다. CIFB-cBN 스톨의 경우 전해드레싱(ELID)을 적용함에 따라 이를 수행하지 않은 연삭에 비해 연삭비가 낮아지게 되지만, V-cBN에 의한 일반연삭의 연삭비에 비해서는 높은 것을 볼 수 있었다. 그러므로 가공중의 전해드레싱량을 적절히 조절함으로써 높은 연삭비로써 고능률 연삭을 실현할 수 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 6-14는 트래버스연삭에 있어서의 CIFB-cBN 스톨 및 CB-cBN 스톨에 의한 ELID연삭과 V-cBN 스톨에 의한 일반연삭의 연삭특성에 대해서 나타내었다. 가공조건은 스톨주속 V1400m/min, 이송속도 f200mm/min, 공작물 주속 Nw50rpm로 하였다. 공작물은

SKH51재(100xL100)이다.

Fig. 6,7은 트래버스연삭에 있어서의 연삭저항의 변화를 보여주고 있다. ELID연삭에서는 절삭깊이 60 μ m, 이송속도 200mm/min의 조건까지 안정적으로 가공이 실현되었다. V-cBN 스톨의 일반연삭에서는 절삭깊이 50 μ m, 이송속도 200mm/min에서 법선방향 연삭저항이 상승(체터가 발생)하여 연삭이 불가능하였다.

Fig. 8,9는 연삭횟수에 따른 접선방향 및 법선방향의 연삭저항변화를 보여주고 있다. CIFB-cBN 스톨에 의한 ELID연삭에서는 초기의 접선방향 연삭저항이 높았지만 전체적으로 안정된 가공이 실현되었으며, CB-cBN 스톨에 의한 ELID연삭에서는 전해성이 CIFB-cBN 스톨에 비해 우수하기 때문에 연삭초기부터 연삭저항이 낮고 안정된 가공이 수행되었다. CIFB-cBN 스톨에 의한 ELID연삭에서 초기의 접선방향 연삭저항이 크게 얻어진 것은 ELID연삭법에서 초기 드레싱을 수행하면, 전해에 의한 수십 μ m의 절연피막이 형성되며 절연피막은 연삭입자를 덮고 있어 초기의 수회가공까지는 스톨

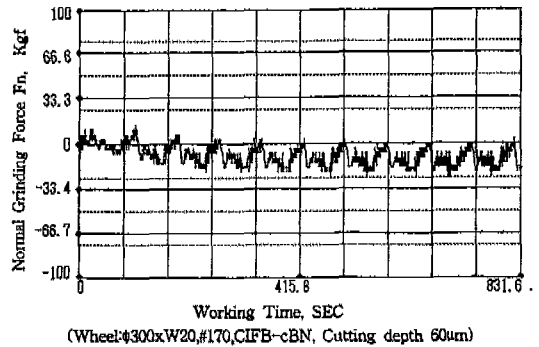


Fig. 6 Grinding force of ELID grinding

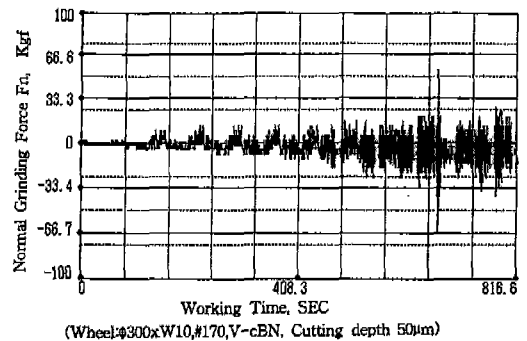


Fig. 7 Grinding force of ordinary grinding

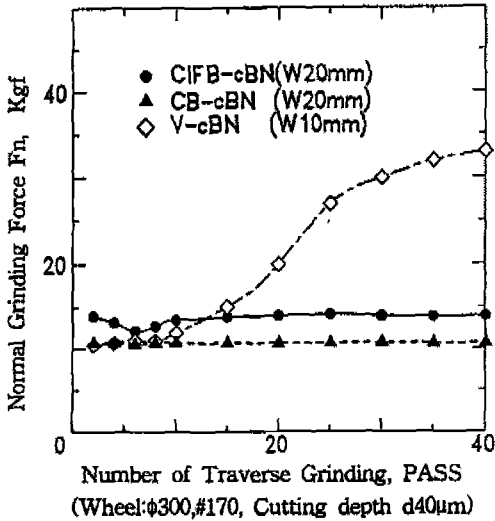


Fig. 8 Change of normal grinding force

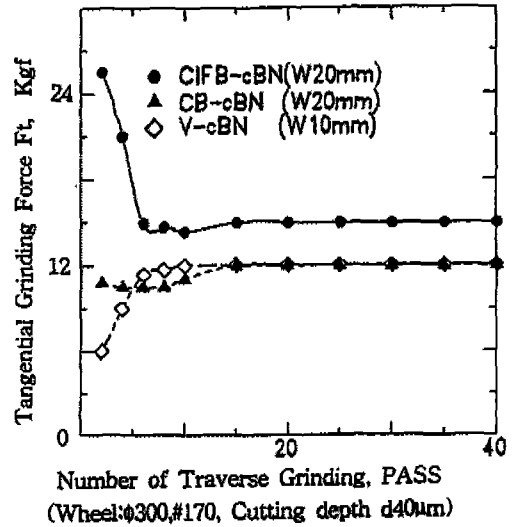


Fig. 9 Change of tangential grinding force

들의 날이 완전히 형성되지 못해 가공성이 좋지 않아 절삭저항이 높게 나타난 것으로 보인다. 한편 V-cBN에 의한 일반연삭에서는 드레싱후 초기의 약 10 패스까지는 연삭저항이 낮고, 안정된 가공이 이루어졌으나 그 이상에서는 진동이 발생하여 연삭저항이 상승하였다. 그 결과 가공정도가 좋지 않았다.

Fig. 10, 11, 12는 슷돌면의 형상변화를 보여주고 있다. CIFB-cBN스�돌에 의한 ELID연삭이 가장 슷돌형상의 변화가 적고, CB-cBN스�돌에 의한 ELID연삭, V-cBN스�돌에 의한 일반연삭의 순으로 슷돌의 마모가 큰 것이 확인되었다. 이에따라 비록 #170의 같은 슷돌 입도임에도 불구하고 가공정도의 차이는 크게 나타났

다. 그 결과는 Fig. 13, 14에 나타내었다.

Fig. 13, 14는 트래버스연삭이 진행됨에 따른 표면거칠기와 가공오차를 비교했다. 여기서 가공오차는 NC지령치와 공작물의 제거량(실측치)의 차이로 계산하였다. CIFB-cBN스�돌에 의한 ELID연삭이 가장 가공정도가 양호하고, CB-cBN스�돌에 의한 ELID연삭은 가공회수가 증가할수록 약간씩 가공정도가 좋지 않지만, V-cBN스�돌에 의한 일반연삭의 경우에는 10 패스이상부터 거의 표면거칠기가 5 μ m 이상, 가공오차도 약 1 μ m/pass로 좋지 않음을 볼 수 있었다. 따라서 연삭비의 차이에 따른 슷돌면의 형상변화 차이가 가공정도에 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

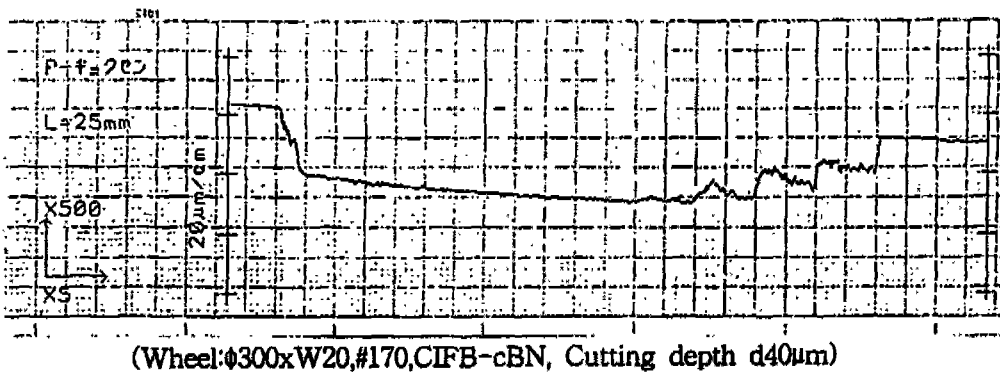
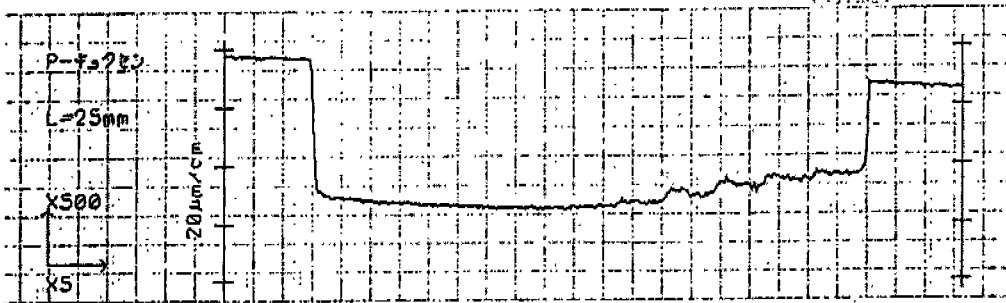
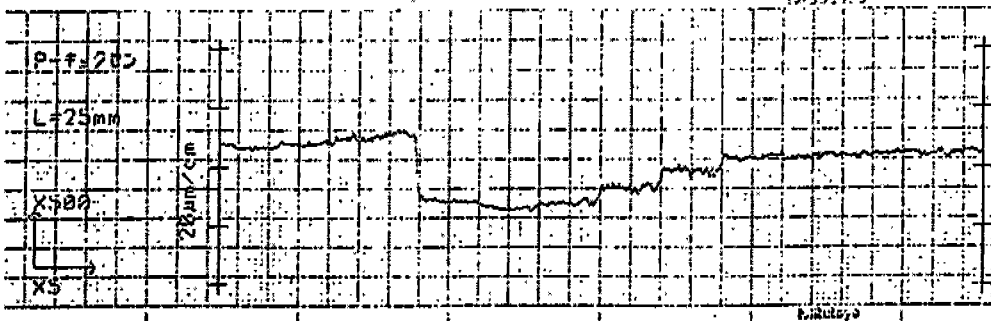


Fig. 10 Profile of CIFB-cBN wheel in traverse grinding



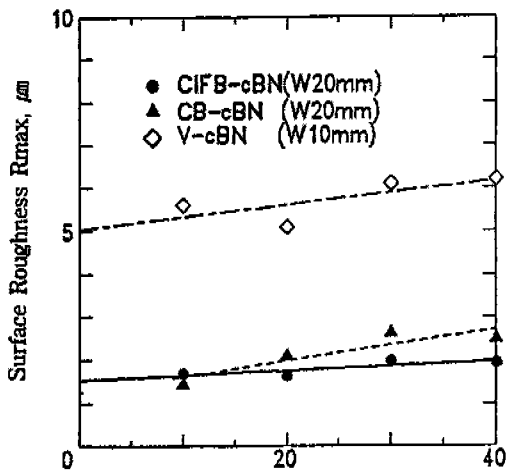
(Wheel:φ300xW20,#170,CB-cBN, Cutting depth d40μm)

Fig. 11 Profile of CB-cBN wheel in traverse grinding



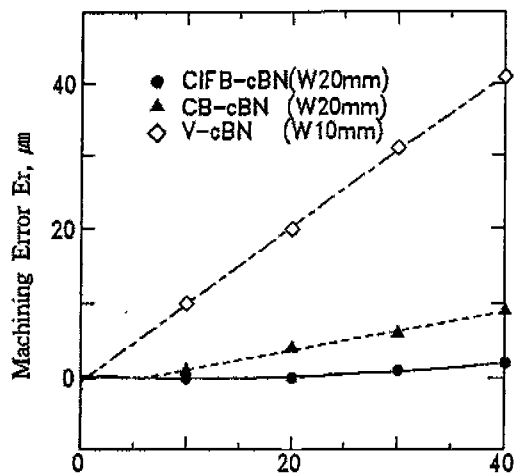
(Wheel:φ300xW10,#170,V-cBN, Cutting depth d40μm)

Fig. 12 Profile of V-cBN wheel in traverse grinding



Number of Traverse Grinding, PASS
(Wheel:φ300,#170, Cutting depth d40μm)

Fig. 13 Change of surface roughness



Number of Traverse Grinding, PASS
(Wheel:φ300,#170, Cutting depth d40μm)

Fig. 14 Change of machining error

6. 결 론

원통연삭기를 이용하여 CIFB-cBN숫돌 및 CB-cBN 숫돌에 의한 ELID연삭과 V-cBN숫돌에 의한 일반연삭에 있어서 철강재료의 고능률 연삭실험을 수행한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 철강재료의 고능률연삭에 있어 ELID연삭의 유용성을 확인하였다.
2. CIFB-cBN숫돌에 의한 ELID연삭이 V-cBN숫돌에 의한 일반연삭에 비해 연삭비가 높고, 가공정도도 양호했다.
3. ELID연삭에서 CB-cBN숫돌이 CIFB-cBN숫돌에 비해 전해성이 우수하여 연삭 저항은 낮으나 가공오차는 크게 얻어졌다.
4. 가공정도는 숫돌면의 형상변화가 작을수록 양호했다.
5. 원통연삭에 있어 변위센서를 이용한 연삭저항의 측정방법을 제시하였다.

참 고 문 헌

1. H. Ohmori "Electrolytic In-Process Dress-

ing(ELID) Grinding Technique for Ultra-precision Mirror Surface Machining" International Journal of JSPE, Vol.26, No.4, pp.273, 1992.

2. H. Ohmori and T. Nakagawa "Mirror Surface Grinding of Silicon Wafer Using ELID" Annals of the CIRP Vol.39/1, pp.329.
3. H. Ohmori "Grinding of Steel and Ceramic Complex Materials Using ELID" J. of JSGE, Vol.37, No.4, pp.34, 1993.
4. 財團法人 機械振興協會 技術研究所 "加工技術データファイル", 第6卷, pp.1-11, 1982.
5. R.E. Ilhan, G. Sathyanarayanan, J.W. Adams, "Influence of Variables on Overcut in Electrochemical Surface Grinding", Tran. of the North American Manufacturing Research Institution of SME, pp.193-200, 1989.
6. 今中 治 外 "超精密·先端加工技術", 科學技術總合研究所, 1987.