

적층연삭숫돌을 사용한 원통연삭 공정에서 가공특성에 관한 연구

김광희*, 이은종**, 김 강***

A study on the grinding characteristics of the workpiece using the laminated grinding wheel in the cylindrical grinding process

Kwang-Hee Kim*, Ewn-Jong Lee**, Kang Kim***

Abstract

To get smoother ground surface, it is required to replace the grinding wheel with a finer-grit wheel. When the operator replaces the grinding wheel, the balancing and dressing of the wheel surface are necessary. So this replacement has a lot of problems like inconvenience to operators, delays in the operation time, and ineffectiveness in the production process. Therefore, a laminated grinding wheel, which consists of three layers, is provided. The side layers are coarse grits and the middle layer is made up of fine grits. To show the effectiveness of the laminated grinding wheel, experiments on the surface roughness and the material removal rate were performed respectively. As a result, it was found that the grinding process using a laminated grinding wheel can generate smoother ground surface in shorter time.

Key Words : Words : Cylindrical grinding(원통연삭), Laminated grinding wheel(적층연삭숫돌), Roughness(표면거칠기), Depth of cut(절입깊이)

1. 서 론

현대 기계산업 분야의 부가가치를 향상시키기 위해서는 정밀가공 기술의 적용이 불가피하며, 가공정밀도를 상품 가치로 하고 있는 연삭가공의 기술의 역할이 중요하다. 연삭 공정에서 황삭 가공 후 정삭을 하기 위해서는 황삭용 일반연삭숫돌을 교체해야 한다. 그러나 숫돌 교체 시마다 밸런싱(balancing)을 잡아주고 드레싱(dressing)을 해야한다. 따라서, 이러한 일반연삭숫돌 사용시 발생하는 비효율

적인 문제점을 개선하기 위하여 황삭작업과 정삭작업을 동시에 수행할 수 있는 거친연삭입자와 고운연삭입자가 층을 이루는 적층연삭숫돌(laminated grinding wheel)을 고안하였다. 본 연구에서는 숫돌 폭을 기준으로 하여 양측면 황삭용연삭입자와 가운데 정삭용연삭입자의 두께가 약 1:1:1이 되도록 고안하였다. 이러한 적층연삭숫돌을 사용하여 황삭작업과 정삭작업을 해야하는 두 개의 공정을 하나의 공정으로 통합하여 사용할 수 있는지를 가늠하고자, 적층연삭숫돌을 연삭작업에서 중요한 인자인 표면

* 유한대학
** 국립천안공업대학
*** 국민대학교

거칠기의 측면에서 일반연삭숫돌과 비교하고자 한다.

표면거칠기에 관련된 선행연구¹⁻⁶⁾에서는 주로 드레싱과 스파크아웃이 거칠기에 미치는 영향과 거칠기 특성에 대하여 다루고 있으며, 특히 Malkin은 타는 현상이 시작될 때, 금속입자들이 연삭입자에 눌러 붙는 현상이 증가하는 경향을 나타내어, 연삭력이 증가되고 공작물 표면이 나빠지며 숫돌 마모율이 증가한다는 것을 확인하였다.⁶⁾ 그러므로 본 논문에서는, 적층연삭숫돌을 사용할 때의 표면거칠기 특성과 아울러 공작물 표면에 타는 현상이 발생하지 않고 연삭 량을 최대로 할 수 있는 절입깊이에 대하여 알아보고자 한다.

2. 실험

2.1 실험 장치

본 실험에서 사용된 원통연삭기(cylindrical grinding machine)는 MIYAMOTO사의 GAU25-50L기종이다. 공작물은 주축대와 심압대를 이용하여 고정시켰다. 실험에 사용된 연삭숫돌은 전문제작업체인 금성연마(주)에서 제조한 것으로써, 양측 면에 황삭연삭입자로 그 중간 부위는 정삭연삭입자의 구조로 되어있는 적층연삭숫돌이며, 연삭숫돌의 사양은 Table 1에 나타내었으며, Fig. 1에는 적층연삭숫돌의 치수 및 입도를 나타내었다.

Table 1 Properties of grinding wheel

abrasive type	WA
grit	#36, #80, #120, #36/#120/#36
grade	K
structure	7
bond type	vitrified

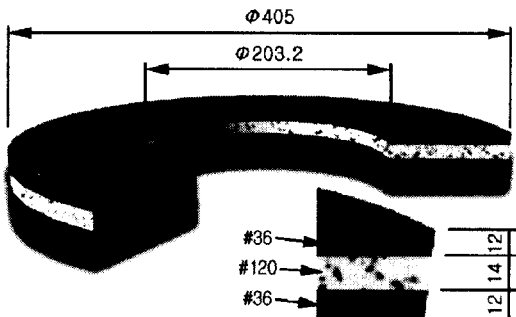


Fig. 1 Dimension and mesh of laminated grinding wheel

시편은 기계 부품으로 많이 사용되는 기계 구조용 탄소강 SM45C를 고주파 열처리하여 사용하였다. 지름은 40 mm, 길이는 200 mm이며, 양 센터 구멍은 $\phi 4$ mm인 센터드릴(center drill)을 사용하여 6 mm의 깊이로 열처리 전에 가공하였다.

센터 구멍은 열처리 후 변형이 발생하므로 $\phi 4$ mm인 센터드릴로 구멍 깊이를 10 mm로 하여 재 가공하였다. 준비된 시편이 고주파 열처리 후 비틀림 현상이 나타나므로 객관적인 실험이 될 수 있도록 #46 연삭숫돌로 모든 시편들을 Table 2와 같은 조건으로 예비 가공하였다.

Table 2 Specimen preparation conditions

fixed condition	value
grinding wheel speed	1740 rpm
dwelt time	2 sec
spark out time	1 회
traverse speed	1.58 m/min
work surface speed	19 m/min
depth of cut	0.0125 mm/회

표면거칠기는 영국 Rank-Taylor Hobson사의 Form Talysurf Series 2를 사용하여 중심선평균 표면거칠기(R_a)와 최대표면거칠기(R_{max})를 측정하였고, 분석을 위한 기본 설정 값은 Table 3과 같다.

Table 3 Form Talysurf set up conditions

fixed condition	value
Assessment mode	Roughness
Cutoff length	0.08 mm
Data length	12 mm
Number of cutoffs	150
Filter type	Gaussian
Lowpass cutoff and bandwidth	1.25 μ m

또한, 절입깊이가 증가될수록 연삭에 의한 발열이 심해져 공작물 표면이 타는 현상을 Olympus사의 PME3 광학현미경으로 촬영하였다.

2.2 실험 1

본 실험에서는 가공변수에 따른 공작물 표면의 표면거

Table 4 Experiment conditions (1st experiment)

fixed condition	value
grinding wheel speed	1740 rpm
work surface speed	19 m/min
spark out times	3
dwell time	2 sec
grinding wheel size	405 × 203.2 × 38 mm
depth of cut	0.02 mm × 8
variable condition	value
traverse speed	0.8, 1.6, 2.0 m/min

칠기를 알아보기 위하여 슷들의 종류와 공작물 이송속도를 변화시켜 Table 4의 조건과 같이 슷들의 종류별로 각각 3개의 시편을 연삭하여 표면거칠기를 측정하였다.

공작물 이송속도는 0.8, 1.6, 2.0 m/min이며, 심압대쪽에서 0.02 mm를 절입하고 연삭가공을 하였다. 주축대 및 심압대 양쪽에 드웰시간을 2초씩 주었으며, 절입깊이는 일반생산현장에서 선삭가공시 연삭여유를 0.2~0.3 mm를 주고 있으므로, 주축대 및 심압대에서 드웰중에 0.02 mm씩 8회 절입하여 총 0.16 mm를 가공하였다. 스파크아웃은 3회 실시하였으며, 드레싱은 0.0125 mm씩 4회 실시하였다.

2.3 실험 2

적층연삭스�들(#36/#120/#36)로 가공된 공작물의 표면거칠기값과 비슷한 표면거칠기를 생성할 것으로 예상되는 일반연삭스�들(#80)을 선택하여 연삭을 수행후 표면거칠기를 측정하였다. 또한, 적층연삭스�들(#36/#120/#36)과 일반연삭스�들(#80)의 연삭량을 비교하기 위하여, 가공변수중 공작물 원주속도, 슷돌회전속도, 스파크아웃 횟수,

Table 5 Experiment conditions (2nd experiment)

fixed condition	value
grinding wheel speed	1740 rpm
work surface speed	19 m/min
spark out times	3
dwell time	2 sec
variable condition	value
traverse speed	0.8, 1.6, 2.0 m/min
depth of cut	0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06 mm

드웰시간 등을 고정시켜 놓고 절입깊이와 이송속도를 변화시켜 실험하였다. Table 5는 실험 2의 가공조건을 보여준다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 1

적층연삭스�들과 일반연삭스�들(#36, #120)을 사용하여 공작물 이송속도의 변화에 따른 최대표면거칠기와 중심선평균 표면거칠기를 측정하였다. 그 결과, 일반연삭스�들(#36)의 경우 공작물 이송속도가 0.8 m/min에서는 최대 표면거칠기가 5.88 μm, 중심선평균 표면거칠기는 0.54 μm이었다. 그리고 공작물 이송속도가 1.6 m/min에서는 최대 표면거칠기가 9.50 μm, 중심선평균 표면거칠기는 0.95 μm이었으며, 공작물 이송속도가 2.0 m/min에서는 최대 표면거칠기가 11.03 μm, 중심선평균 표면거칠기는 1.13 μm로 측정되었다. 공작물 이송속도가 증가하면 최대표면거칠기와 중심선평균 표면거칠기가 커지는 것을 알 수 있다. Table 6과 7, Fig. 2와 3은 공작물 이송속도의 변화에 따른 최대표면거칠기 및 중심선평균 표면거칠기의 변화를 나타내고 있다.

이와 같은 결과로 볼 때 적층연삭스�들로 가공한 공작물의 표면거칠기는 적층연삭스�들의 양면을 구성하고 있는 황삭연삭입자와 동일한 입자로 제작된 일반연삭스�들(#36)로 가공한 공작물의 표면거칠기보다 작은 값을 가지고, 적층연삭스�들의 가운데 층을 이루는 정삭연삭입자와 동일한 입자로 제작된 일반연삭스�들(#120)로 가공한 공작물의 표면거칠기보다 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있다. 실험 중 스파크아웃을 수행할 때 주로 적층연삭스�들의 가운데 층을 이루는 정삭연삭입자가 있는 부분에서 불꽃이 발생되는 것이 확인되었으며, 이를 통해서 정삭연삭입자가 공작물 표면의 거칠기를 향상시키는데 기여하고 있음을 알 수 있다.

Table 6 Maximum roughness height (R_{max}) (1st experiment)

grinding wheel traverse speed	#36	#36/#120/#36	#120
	0.8 m/min	5.88 μm	4.75 μm
1.6 m/min	9.50 μm	5.06 μm	4.47 μm
2.0 m/min	11.03 μm	8.11 μm	5.21 μm

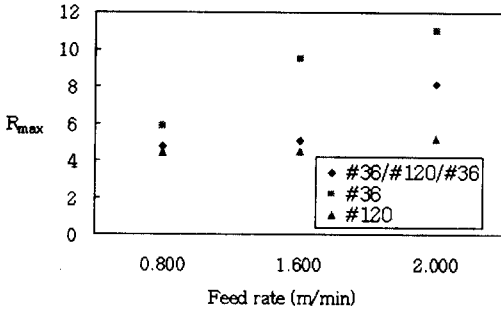


Fig. 2 Relationship between R_{max} and feed rate (1st experiment)

Table 7 Center-line average roughness (R_a) (1st experiment)

grinding wheel / traverse speed	#36	#36/#120/#36	#120
0.8 m/min	0.54 μ m	0.37 μ m	0.30 μ m
1.6 m/min	0.95 μ m	0.60 μ m	0.42 μ m
2.0 m/min	1.13 μ m	0.83 μ m	0.53 μ m

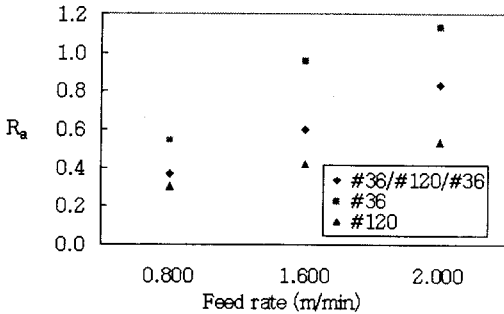


Fig. 3 Relationship between R_a and feed rate (1st experiment)

3.2 실험 2

실험1의 결과, #36과 #120으로 구성된 적층연삭숫돌로 가공한 공작물의 표면거칠기는 #36 일반연삭숫돌과 #120 일반연삭숫돌로 가공한 공작물의 표면거칠기 사이에 있음을 알 수 있다. 따라서 적층연삭숫돌로 가공된 공작물의 표면거칠기와 비슷한 표면거칠기를 생성할 것으로 예상되는 #80 일반연삭숫돌을 선택하여 실험1과 동일

한 조건으로 실험하였다. Table 8과 9, Fig. 4와 5에 공작물 이송속도의 변화에 따른 최대표면거칠기 및 중심선평균 표면거칠기의 변화를 나타내고 있다. 적층연삭숫돌로 가공된 공작물의 표면거칠기는 #80 일반연삭숫돌로 가공된 공작물의 표면거칠기보다 다소 우수함을 알 수 있다. Fig. 6은 일반연삭숫돌(#80)과 적층연삭숫돌의 공작물 이송속도에 따른 절입깊이의 비교를 나타낸 것이다. 공작물 이송속도가 0.8, 1.6, 2.0 m/min에 따라, 일반연삭숫돌(#80)은 각각 절입깊이가 0.0375, 0.0250, 0.0200 mm에서, 적층연삭숫돌은 각각 절입깊이가 0.0625, 0.0585, 0.0500 mm에서 공작물 표면이 옅은 황색으로 변화되는 현상을 실험 중 육안으로 확인하였다. 따라서 적층연삭숫돌(#36/#120/#36)이 일반연삭숫돌(#80)보다 공작물 이송속도에 따른 1회 절입깊이를 각각 0.0250, 0.0335, 0.030 mm만큼 더 크게 줄 수 있었다.

Fig. 7~12는 적층연삭숫돌(#36/#120/#36)과 일반연삭숫돌(#80)의 공작물 이송속도와 절입깊이의 관계에 따른 공작물 표면의 변화를 보여주고 있다. 일반연삭숫돌(#80)의 최대 절입깊이에서 가공된 공작물은 표면에 타는 현상이 일어나면서 상대적으로 적층연삭숫돌로 가공한 공작

Table 8 Maximum roughness height (R_{max}) (2nd experiment)

grinding wheel / traverse speed	#80	#36/#120/#36
0.8 m/min	5.60 μ m	4.75 μ m
1.6 m/min	7.00 μ m	5.06 μ m
2.0 m/min	8.88 μ m	8.11 μ m

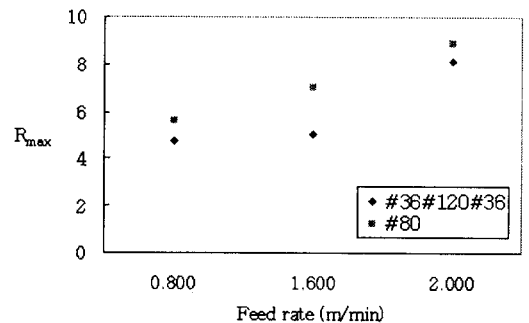
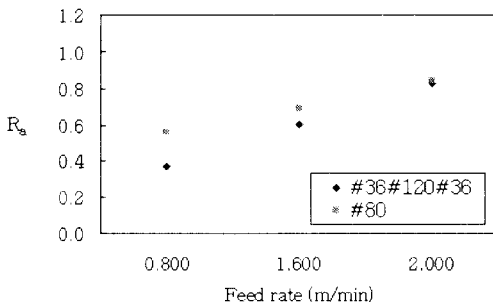


Fig. 4 Relationship between R_{max} and feed rate (2nd experiment)

**Table 9 Center-line average roughness (R_a)
(2nd experiment)**

grinding wheel \ traverse speed	#80	#36/#120/#36
0.8 m/min	0.56 μm	0.37 μm
1.6 m/min	0.69 μm	0.60 μm
2.0 m/min	0.84 μm	0.83 μm



**Fig. 5 Relationship between R_a and feed rate
(2nd experiment)**

Table 10 Maximum depth of cut

grinding wheel \ traverse speed	#80	#36/#120/#36
0.8 m/min	0.0375 μm	0.0625 μm
1.6 m/min	0.0250 μm	0.0585 μm
2.0 m/min	0.0200 μm	0.0500 μm

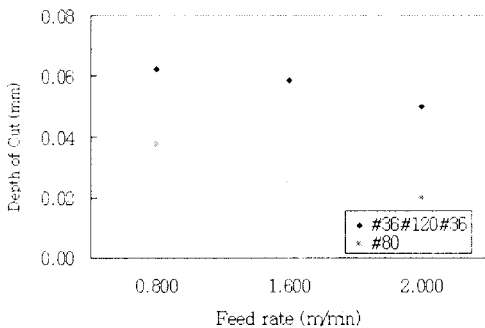


Fig. 6 Maximum depth of cut

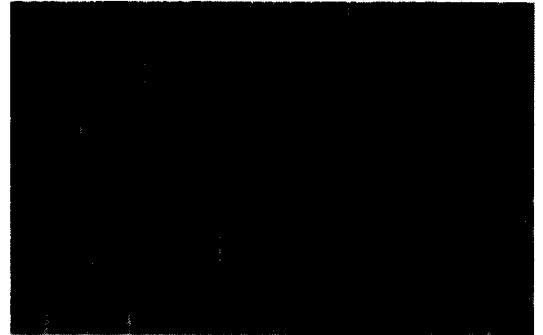


Fig. 7 Workpiece surface ground with laminated grinding wheel (#36/#120/#36) (Feed rate=0.8 m/min, Depth of cut=0.0375 mm)

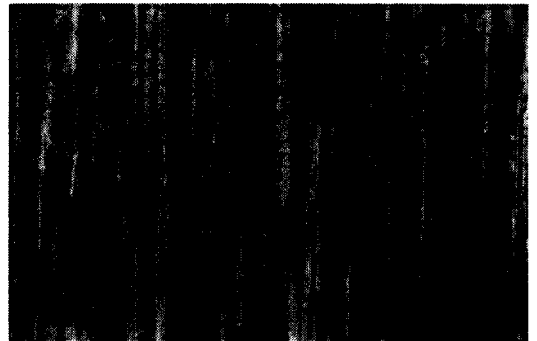


Fig. 8 Workpiece surface ground with grinding wheel(#80) (Feed rate=0.8 m/min, Depth of cut=0.0375 mm)

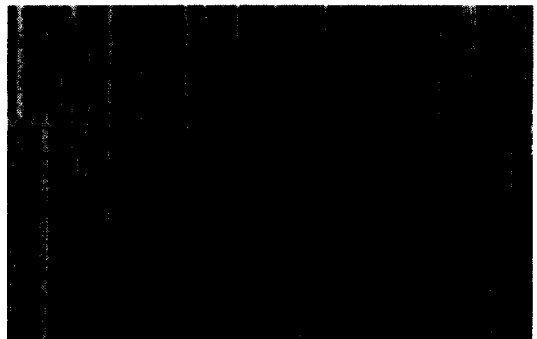


Fig. 9 Workpiece surface ground with laminated grinding wheel(#36/#120/#36) (Feed rate=1.6 m/min, Depth of cut=0.0250 mm)

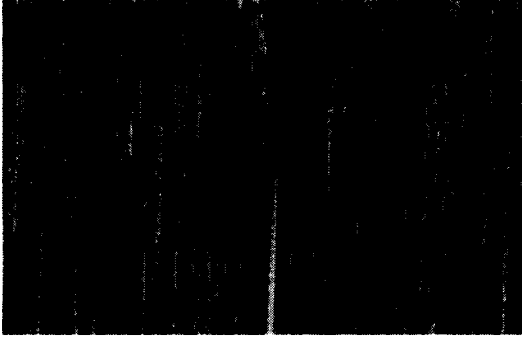


Fig. 10 Workpiece surface ground with grinding wheel(#80)
(Feed rate=1.6 m/min, Depth of cut=0.0250 mm)



Fig. 11 Workpiece surface ground with laminated grinding wheel(#36/#120/#36)
(Feed rate=2.0 m/min, Depth of cut=0.0200 mm)

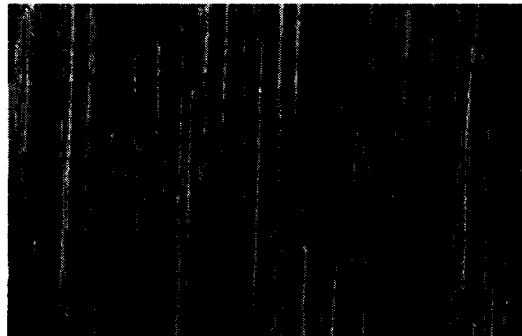


Fig. 12 Workpiece surface ground with grinding wheel(#80)
(Feed rate=2.0 m/min, Depth of cut=0.0200 mm)

물에 비해 표면이 손상된 것을 볼 수 있고, 적층연삭숫돌로 가공한 공작물의 표면은 상대적으로 균일한 것을 볼 수 있다.

4. 결 론

원통연삭공정시, 생산성 향상을 위하여 정삭용 연삭입자와 황삭용 연삭입자가 층을 이루는 적층연삭숫돌을 고안하였다. 적층연삭숫돌은 숫돌폭을 기준으로 양측면을 구성하는 황삭용 연삭입자와 가운데부분을 구성하는 정삭용 연삭입자의 두께가 약 1:1:1로 제작되었다. 실험 결과 적층연삭숫돌의 가운데 층을 이루는 정삭용연삭입자는 공작물의 표면거칠기를 향상시키는 것으로 확인되었다. 이 적층연삭숫돌의 활용 가능성을 알아보기 위하여 황삭연삭숫돌(적층연삭숫돌의 양측면을 구성하고 있는 연삭입자와 동일한 연삭입자로 제작된 일반연삭숫돌), 정삭연삭숫돌(적층연삭숫돌의 가운데부분을 구성하고 있는 연삭입자와 동일한 연삭입자로 제작된 일반연삭숫돌)과 적층연삭숫돌을 사용하여 가공한 공작물의 표면거칠기를 비교하였다. 그리고 중간연삭입자숫돌(적층연삭숫돌로 가공한 공작물의 표면거칠기와 비슷한 공작물의 표면거칠기를 생성하는 일반연삭숫돌)과 적층연삭숫돌의 1회에 절입할 수 있는 최대 절입깊이를 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 적층연삭숫돌로 가공된 공작물의 표면거칠기 값은 동일한 가공조건으로 가공을 하였을 때 황삭용 연삭숫돌보다는 작고, 정삭연삭숫돌보다 크다.
- (2) 적층연삭숫돌로 가공된 면은 일반연삭숫돌과 마찬가지로 이송속도가 증가하면 표면거칠기 최대높이와 중심선평균거칠기가 증가한다.
- (3) 동일한 이송속도에서 절입깊이를 증가시켰을 때 중간입자연삭숫돌로 가공한 공작물의 표면은 적층연삭숫돌로 가공한 공작물의 표면보다 먼저 타는 현상이 나타났다. 그러므로 동일한 연삭조건에서 적층연삭숫돌을 사용하면 중간입자연삭숫돌보다 절입깊이를 더 줄 수 있으므로 연삭량을 크게 할 수 있다.

후 기

본 연구에 이용된 적층연삭숫돌은 실용신안 특허출원(출원번호; 98-7134, 명칭; 적층형 회전연삭숫돌)중.

참 고 문 헌

- (1) Verkerk, J. "Final Report concerning CIRP cooperative work on the Characterization of Grinding Wheel Topography," Annals of the CIRP, Vol. 1. 26/2, pp. 385~395, 1997.
- (2) Hasegawa, Motoyoshi, "Statistical Analysis for the Generating mechanism of Ground surface roughness," Wear, 29, pp. 31~39, 1974.
- (3) David A. Stephenson, John S. Agapiou, Metal cutting theory and practice, MARCEL DEKKER, pp. 649~651, 1997.
- (4) W. B. Rowe, S.C.E. Black, B. Mills, H.S.Qi, M. Morgan "Experimental Investigation of Heat Transfer in Grinding," Annals of the CIRP, Vol.44/1, pp. 329~332, 1995.
- (5) 小野浩二, 研削仕上, 書店, pp. 60, 1976.
- (6) S. Malkin, Grinding Technology, Ellis Horwood limited, pp. 67~68, pp. 150~157, 1988.