韓國精密工學會 '97年度 春季學術大會論文集 pp.970~976

마이크로 필름을 이용한 경면연마가공 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of the Mirror Surface Abrasive Finishing using Micro Abrasive Film

김 홍 배, 배 명 일(충남대 대학원), 김 기 수, 남 궁석(충남대 공대)

Hong-Bae Kim, Myung-Il Bae(Graduate School, Chungnam Univ), Kl-Soo Kim, Suk Namgung(Chungnam Univ)

ABSTRACT

The ultra-precision machining is widely used for final machining process of precision parts. so in this study, mirror surface finishing systems using the micro abrasive film, one of ultra-precision machining method , have to examine mirror surface characteristics of the cylindrical workpiece(SM45) such as surface roughness, workpiece removal and evaluated under the conditions varing film feed rate, applied pressure, grinding speed after fixing other condition. It was found that varrious machining condition have significant influences on workpiece removal, surface roughness.

Key Words : Mirror Surface Finishing System(경면가공시스템), workpiece removal(재료제거량), AbrasiveGrain(연마입자), Surface Roughness(표면거칠기), Film feed rate(필름이송속도), applied pressure (가압력), grinding speed (연마속도), Mirror Surface(경면)

1. 서 론

최근 산업사회의 급속한 발전에 따라 미소기계를 비롯한 초정밀스핀들, 인쇄용 로울러, 자기 테이프 제조용로울러, 복사기드럼 등 원형부품들은 성능향상을 위해 나노미터 수준의 거울면과 같은 정밀한 표면과 서브 미크론 단위의 치수정밀도가 요구되고 있으며, 이러한 치수정밀도를 보장하기 위해서 높은 가공 정밀도를 가지고 있는 가공시스템을 필요로 한다.[1)]

최근에 초정밀 경면 가공기술 들은 여러 가지 새로운 가공기술을 혼합하여 실현한 전해 인프로세스 드레싱법에 의한 연삭, 전해연삭, 전해연마, 전해화학연마, 전해자력연마법 또는 래핑(Lapping), 폴리싱(polishing), 슈퍼피니싱(superfinishing) 등의 연삭 및 연마시스템을 이용하여 고능률, 고정밀도의 품위와 가공 정밀도를 얻고 있다.[2~5)]

그러나 이러한 가공법은 고가의 가공시스템 및 주변설비가 필요하고 운영에 있어서 상대적으로 매우 높은 기술 수준이 요구되고 있으며, 아직까지도 기술적인 근거자료가 체계화 되어 있지 않기 때문에 숙련공의 경험과 감각에 의존한 수작업 형태로 이어져 오고 있으며, 다른 공정에 비해 자동화가 극히 미진한 실정이다.[6)] 그렇기 때문에 아직까지도 전형적인 3D 업종의 하나로서 숙련공의 인력수급과 인건비상승 등으로 국내 업체에 큰 부담을 안겨주고 있다.

따라서, 종래의 기계적인 가공방법의 범위에서 벗어나지 않는 일반적인 기술을 적용하여, 능률적이고 설비비가 저렴하고, 가공방법이 쉽고, 양호한 표면거

칠기를 얻을 수 있는 가공시스템의 요구가 증대되고 있는 실정이다. 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 기계가공법으로서 연삭입자를 벨트를 이용하는 가공시스템을 들 수 있다. 이 가공방법은 일반 연마공정에서의 숫돌 바란싱, 드레싱 투루잉 등이 필요하지 않고 시스템의 설치 및 운용이 쉽다는 장점을 가지고 있으나, 연마 벨트가 한 쌍의 폴리에 의하여 안내되어 가공이 이루어지기 때문에 벨트에 도포된 연마입자의 마모와 탈락현상에 의하여 연속적인 사용이 불가능하고, 가공시간의 증가에 따라서 공작물의 가공면이 일정하지 않는 단점을 가지고 있기 때문에 버어(burr)의 제거나 정밀을 요하지 않는 가공품의 연마에 주로 이용되어 왔다.[7~8)]

그러나 최근에 연마 필름의 제조기술 발달로 폴리싱이 가능한 초미립자 연마필름이 시판되고 있으며, 필름의 형태로 기존의 시트형상, 벨트형상뿐만아니라, 테이프 필름 형상에 이르기까지 다양화되어 벨트연마 기술상의 한계를 극복한 마이크로 연마입자를 이용한 필름 연마 가공기술(Film Grinding Technique using Micro Abrasive Grain)이 개발되었다.[9)]

마이크로 필름을 이용한 연마 가공법은 얇은 폴리에스텔 필름에 수지접착제와 연마입자를 입혀 필름을 공작물에 가압 이송하면서 표면을 연마하는 방법으로 연삭가공과 비교하여 수십배에 달하는 절삭력을 가지고 있으며 목재, 기계부품, 금형 등 다양한 형상과 치수를 가진 제품을 가공할 수 있다는 장점 때문에 다양한 다듬질 가공에서 일반적인 다듬질방법으로 대치되고 있다.[10,11)]

또한 기존의 숫돌이나 벨트연마에 비하여 많은 시간과 노력을 절감할 수 있고, 가공방법은 다른 가공법에 비하여 적용하기 용이하지만, 연마속도(grinding speed), 필름의 이송속도(film feed), 가압력(applied pressure), 접촉롤의 경도(contact roll hardness), 입자크기(grain size), 오실레이션 주파수(Oscillation frequency) 등의 가공 조건이 매우 다양하기 때문에 최적가공조건의 결정이 매우 어렵고, 또한 아직까지도 이에 관한 체계적인 연구가 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서 마이크로 입자 필름 연마 가공기[12)]에 의한 SM45C 강의 최적경면 가공 조건의 체계화를 위하여 연마가공 실험을 한 후 표면거칠기를 측정하고 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

경면연마기의 구성은 Fig.1 과 같이 범용선반, 필름연마가공기, 제어반, 절삭유 급유 시스템으로 이루어져 있으며, 필름연마가공기 본체는 선반의 전후왕복대 위에 설치되고, 진동헤드의 전후운동 및 좌우진동장치, 연마작업이 이루어지는 접촉지지부, 연마필름 공급 및 회수를 위한 필름 이송장치등으로 구성되어 있다. 제어기는 전원스위치, 진동헤드의 전진 및 후진운동을 위한 스위치, 좌우 진동을 위한 스위치 및 좌우 진동수 조정기, 필름의 이송속도 조정기, 비상스위치가 부착되어 있다.

절삭유 공급장치는 별도로 절삭유탱크, 펌프, 필터로 구성되어 있으며 사용된 절삭유는 범용선반의 절삭유탱크에 모아져 펌프에 의해 별도로 설치된 절삭유탱크에 보내어져 침전, 부유물 제거장치, 3중필터(20㎛, 5㎛, 1㎛)를 통과하여 완전히 정선된 절삭유가 계속적으로 연마지점에 공급 되도록 하였다.

필름 경면연마가공기의 동작원리는 Fig.2 와 같이 마이크로 필름이 접촉지지 로울러 위를 낮은 속도로 연속적으로 지나가며, 접촉헤드는 연마장치의 이송방향에 평행하게 일정 진동주파수로 진동을 하게 되고, 공압실린더에 의하여 접촉 로울러가 동작하여 마이크로 필름을 공작물에 가압하고, 선반에 좌우이송을 주면서 작업한다. 가공시 연마필름의 연속적인 공급으로 새로운 필름의 지립이 가공물에 일정압력으로 연속적으로 접촉하기 때문에 전체 가공면에 대해 일정한 표면조도를 갖는 연마가공이 이루어지게 된다.

실험에 사용된 선반은 GEMA LZ 200이며, 공작물의 표면거칠기 측정은 Mitutoyo 사의 Surftest(SV-500) 표면거칠기 측정기로 분해능은 0.0005㎛이다. 마이크로 필름 연마가공기는 선반의 복식공구대를 제거하고 왕복대의 전후이송대에 설치하였다. 시험편의 직경 75㎜, 길이 90㎜의 기계구조용강(SM45C)을 이용하였다.

시험편의 고정은 양센터 지지법을 이용하였으며, 실험에 사용된 마이크로 필름은 3M사의 초정밀 래핑필름(lapping film)으로 폭 100㎜의 롤(roll)형을 이용하였다. 연마입자는 산화알루미늄(Al_2O_3)이고, 연마필름은 입자의 크기에 따라서 30, 15, 12, 9, 5, 3 ㎛의 6종류, 접촉지지 로울러는 Hs 60을 이용하였다. 실험은 습식가공으로 절삭유는 수용성인 범우화학사의 제품의 유시로켄 S-60H를 1:30(물)의 혼합비로 하였다.

본실험은 오실레이션주파수, 가공시간, 접촉롤 경도를 일정하게 고정시키고 필름의 이송속도, 가압력, 연마속도등을 변화시키면서 실험을 수행하였으며, 가공면의 표면거칠기에 미치는 영향을 조사하였다. 실험을 위한 연마가공 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Experimental Conditions

item	operating condition
grinding speed [m/min]	47, 88, 138, 177, 219
applied pressure[kgf/㎠]	2, 3, 4, 5, 6
Film feed rate[mm/min]	5, 10, 15, 20, 25
oscillation frequence[Hz]	25
machining time[sec]	120
contactroll hardness[Hs]	60
Film grain siz[㎛]	30, 15, 12, 9, 5, 3

시험편은 Ra 0.8~1.2㎛, Rmax 10~15㎛로 선삭 가공하였으며, 실험방법은 필름입자 30, 15, 12, 9, 5, 3㎛ 크기에 따라 순차적으로 실험을 하였고, 입자의 크기가 변화될 때마다 시험편의 초기화를 위하여 균일한 조건으로 초기연마를 하였으며, 표면거칠기 측정은 하나의 조건에 대한 실험이 끝날 때마다 측정 및 기록하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1 연마속도에 따른 표면거칠기 변화

Fig. 3은 접촉롤의 경도 60Hs, 필름의 이송속도 5mm/mim, 가압력 6kgf/㎠, 가공시간 120sec, 오실레이션 주파수 25Hz, 실험조건을 고정시킨 다음 연마속도만을 변화시켜 가공한 후 표면거칠기를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

그림에 나타난 바와 같이 30㎛~9㎛의 연마입자 필름으로 연마한 시험편의 표면거칠기 값은 138m/mim연마속도를 기점으로 연마속도가 증가함에 따라 표면거칠기 값이 작아지고 있다. 또한 5㎛, 3㎛의 연마입자필름으로 연마한 시험편의 경우 138m/mim 이하의 연마속도에서는 표면거칠기 값이 일정한 값을 나타내었으나 138m/mim이상의 영역에서는 표면거칠기 값의 분산이 심하고, 거칠기 값이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

이것은 5㎛, 3㎛의 연마필름으로 가공할 때 연마속도가 증가함에 따라 연마입자의 탈락 및 마모가 급격하게 이루어지기 때문에 표면거칠기 값은 커지게 된다. 그러므로 연마필름입자 작은 것으로 가공할 때에는 연마속도를 고속으로 하지 않는 것이 좋을 것으로 사료된다.

3-2 필름의 이송 속도에 따른 표면거칠기 변화

Fig. 4는 접촉롤의 경도 60Hs, 연마속도 219 m/mim, 가압력 6kgf/㎠, 가공시간 120 sec, 오실레이션 주파수 25Hz의 조건에서 필름의 이송속도를 변화시켜 연마가공한 후, 표면거칠기를 측정한 결과를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있는 것처럼 이송속도 10mm/min 또는 15mm/min를 기점으로 이송속도가 증가할 수록 표면거칠기 값이 상승하는 경향을 보이고 있다. 또한 이송속도 5mm/min에서는 10, 15mm/min에 비하여 오히려 표면거칠기 값이 크게 나타나고 있다.

연마필름의 이송속도가 10, 15mm/min 일 때에는 공작물에 접촉 가공을 수행하여 적당하게 마모된 연마입자가 계속적으로 공작물에 접촉하여 가공하기 때문에 표면거칠기 값이 적어지고 있다. 연마입자필름의 이송속도가 증가함에 따라 표면거칠기 값이 커지는 것은 연속적으로 나타나는 새로운 연마입자에 의하여 가공이 이루어져 연마입자의 크기에 대응하는 표면을 생성하기 때문이라고 사료된다. 또한 필름이송속도가 5mm/mim인 경우 필름의 이송속도가 너무 작게 되며, 이로 인하여 공작물과 필름의 접촉시간이 상대적으로 크게 됨으로써 연마입자의 마모 및 눈메움 현상이 크게 나타나 표면거칠기 값이 증가되는 것으로 사료된다.

3-3 가압력에 따른 표면거칠기 변화

Fig. 5는 접촉롤의 경도 60Hs, 필름의 이송속도 5mm/mim, 연마속도 219m/mim, 가공시간 120 sec, 오실레이션 주파수 25Hz의 조건에서 가압 헤드가 공작물을 가압하는 가압력을 변화시켜 실험한 결과를 나타낸 것이다.

30㎛, 15㎛, 12㎛의 연마입자필름에서는 가압력이 증가할 수록 표면거칠기 값이 작아지는 경향을 나타내고 있으며, 9㎛의 연마입자필름에 의한 가공에서는 이와 반대로 3kg/㎠을 기점으로 표면거칠기 값이 상승하고 있으며, 3㎛에서는 9㎛의 연마입자필름으로 가공한 후 측정한 결과보다 오히려 높은 표면거칠기 값을 나타내고 있다.

5㎛, 3㎛의 연마입자필름에 의한 가공에서 높은 가압력으로 가공할 때에는 가압력이 너무 크게 되어 연마된 칩이 머무를 수 있는 공극이 사라지므로 원활한 칩 배출이 이루어지지 않게 되고, 또한 탈락된 연마입자의 배출이 이루어지지 않게 된다. 따라서 배출되지 못한 연마칩과 연마입자에 의한 스크레치 현상을 야기시켜 표면거칠기 값을 상승시키는 것으로 사료된다.

4. 결 론

경면가공시스템을 이용하여 기계구조용강(SM 45C)을 가압력, 필름의 이송속도, 연마속도 등을 변수로 하여 연마가공실험을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 필름연마 가공에서 연마속도,필름이송 가압력을 가공변수로 하였을 때, 필름 입자 크기가 30, 15, 12, 9㎛로 작아짐에 따라 표면거칠기 값은 매우 감소하지만, 필름 입자 9㎛를 정점으로 하여 5㎛, 3㎛의 필름 입자에서는 표면거칠기 값이 증가하는 경향을 나타낸다.

2) 필름연마입자 30, 15, 12, 9㎛에서는 연마속도는 약 138m/mim이상, 필름연마입자가 5, 3㎛에서는 약 138m/mim ,필름이송속도는 10mm/mim에서는 양호한 표면거칠기 값을 얻을 수 있다.

3) 필름연마입자 30, 15, 12,㎛에서 가압력5kgf/㎠ ~ 6kgf/㎠ 하고, 필름연마입자 9, 5, 3㎛에서는 3~4kgf/㎠ 하면 양호한 표면거칠기 값을 얻을 수 있다.

4) 선삭가공한 시험편 기계구조용강(SM 45C)을 30, 15, 12, 9, 5, 3㎛의 연마입자 필름으로 연마하여 9㎛의 연마입자 필름에서 Ra 0.003㎛~0.005㎛인 가공면을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Nobuo Yasunaga, "Recent Advences in Ultraprecision Surface Finishing Technologies in Japan", Int. j. Japan. Soc. Prec. Eng., Vol. 28., No. 3., pp. 1994
2. Norman J. Brown. "Lapping : Polishing and Shear Mode Grinding", JSPE-56-05, pp.24~29, 1990.
3. P. A. McKeen, K. Carlisle, P. Shore and R. F. J. Read, "Ultra-precision, High Stiffness CNC Grinding Machines for Ductile Mode Grinding of Brittle Materials", JSPE-56-05, pp.30~37, 1990
4. H. Ohmori, T. Nakagawa, "Mirror Surface Grinding of Slicon Wafers with Electrolytic In-Process Dressing", Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp.329~332, 1990.
5. S. Yonetsu, I. Inasaki, J. Shibata, T. Kurosaki, "Wear Process and Grinding performance of Coated Abrasive Belt", JSPE, Vol. 40, pp.211~226, 1974.
6. 三好隆志, 금형의 연마가공(현상과 앞으로의 과제), 형기술, Vol. 5, No. 3, pp. 2~8, 1992
7. 김현수, "동력전달용 평벨트의 표면모델과 수직력 및 접촉각에 대한 연구", 대한기계학회 논문집, 제 11권, 제 5호, pp. 772~780, 1987
8. T. Hanaoka, K. Sakamiya, A. Kobayashi and M. Harada, "Abrasive Belt Grinding Performance", Annals of the CIRP, Vol. 25, pp.225~228, 1976
9. 3M Microabrasive Film Catalogue.
10. S. Koide : Micro-polishing Techniques with Finishing Abrasive Films, J. CAPS of Japan, 21, 3, 4(1984) 5. (in Japanese)
11. A. Quambusch : New Roll Superfinishing Technology, Transfer, 3 (1989) 22.
12. 김기수, 남궁 석, "마이크로 필름을 이용한 경면가공 시스템에 관한 연구", '95 춘계학술대회 논문집, 한국정밀공학회, 1995, pp273~278

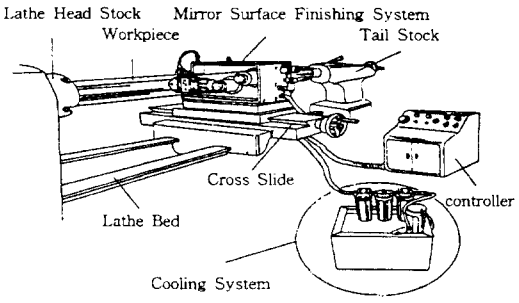


Fig. 1 Configuration of the mirror finishing system

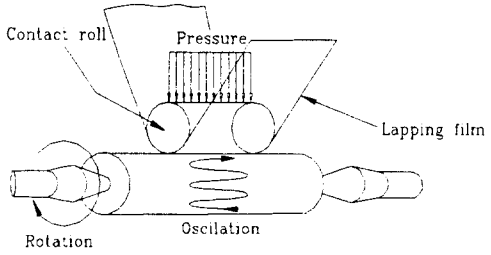
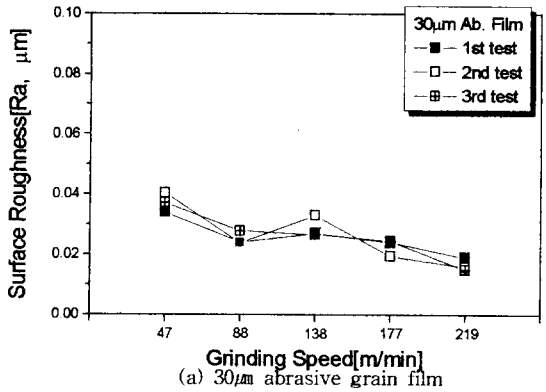
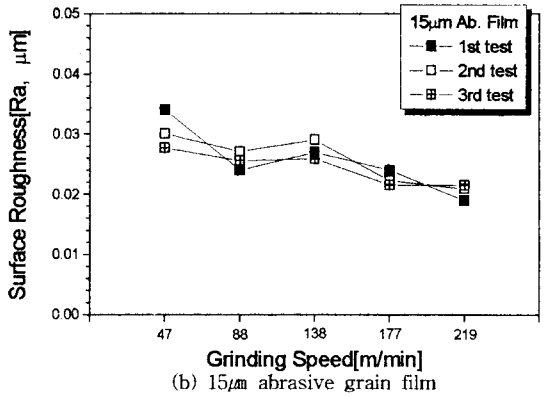


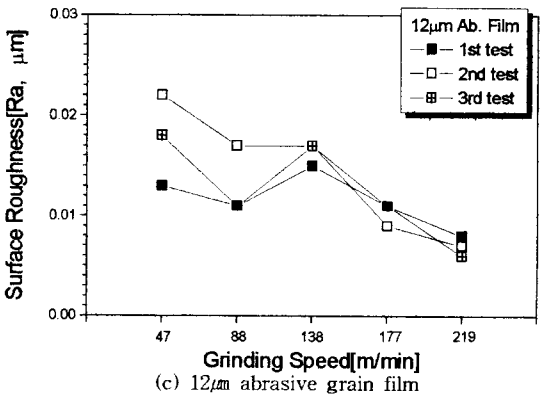
Fig. 2 Principle of film finishing



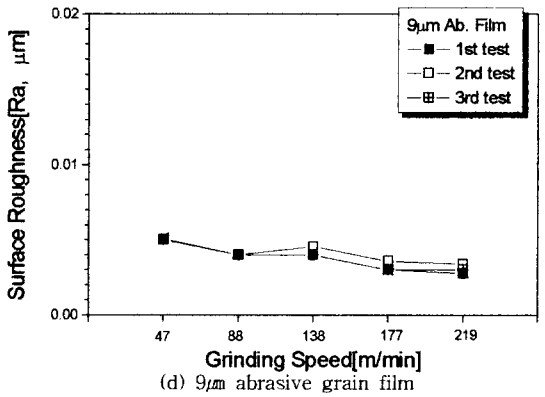
(a) 30㎛ abrasive grain film



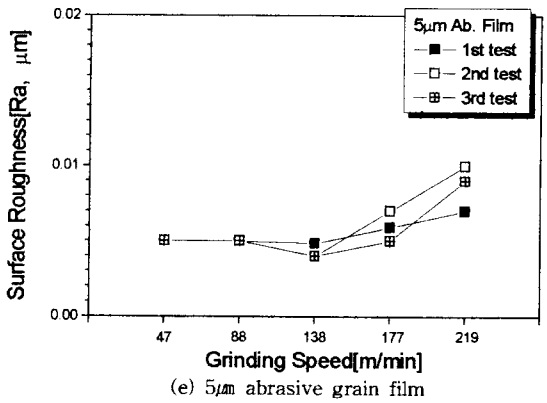
(b) 15㎛ abrasive grain film



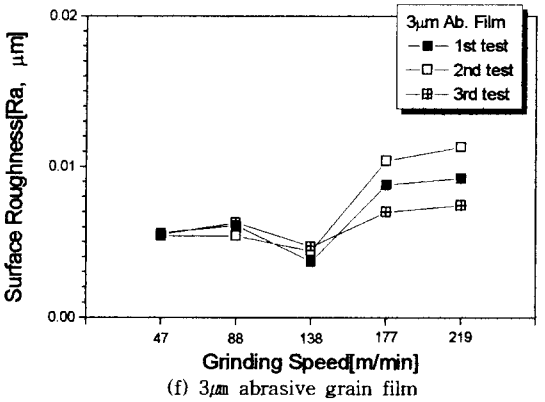
(c) 12㎛ abrasive grain film



(d) 9㎛ abrasive grain film



(e) 5㎛ abrasive grain film



(f) 3㎛ abrasive grain film

Fig. 3 Effects of grinding speed on surface roughness in the case of varied film grain size

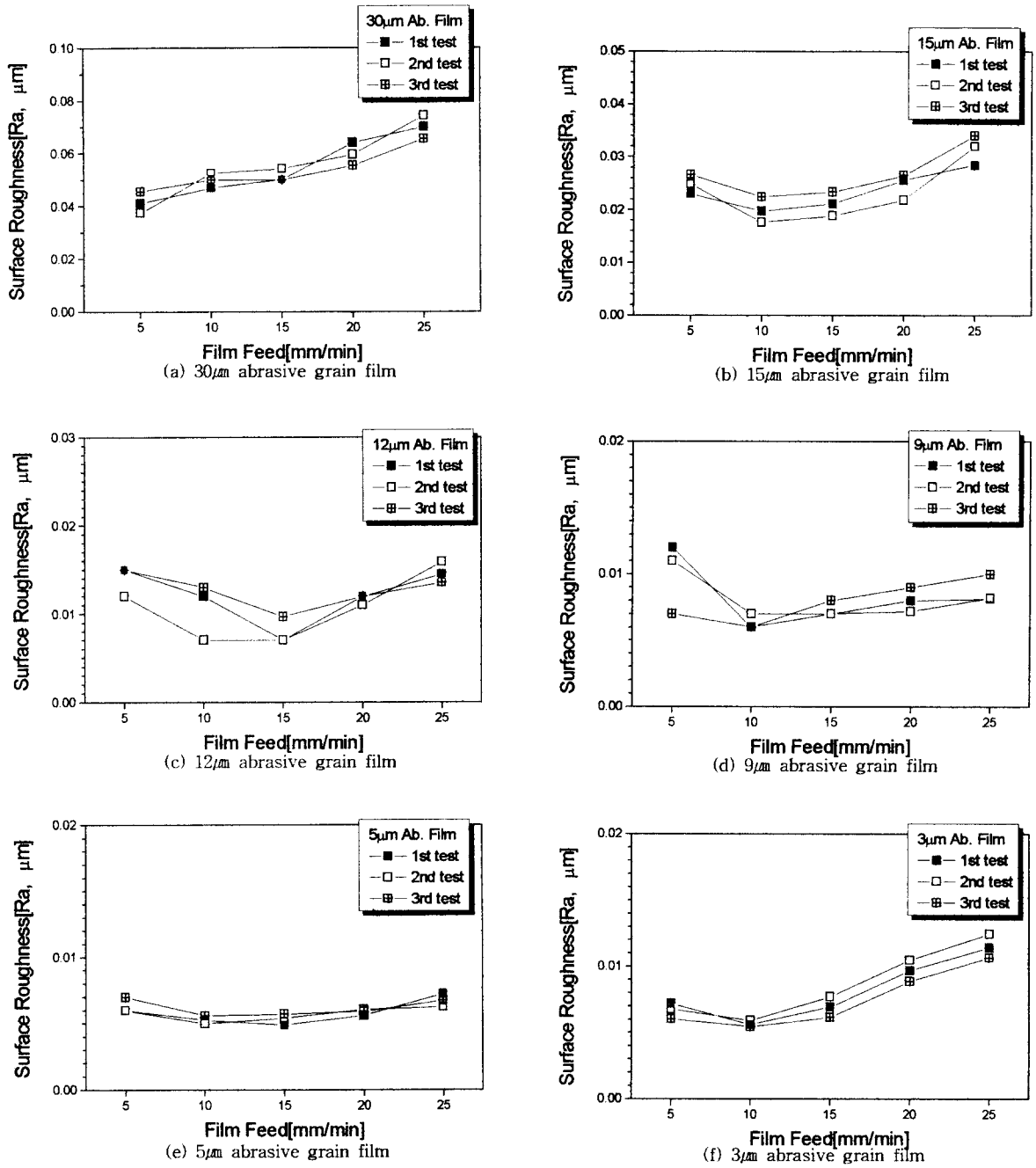
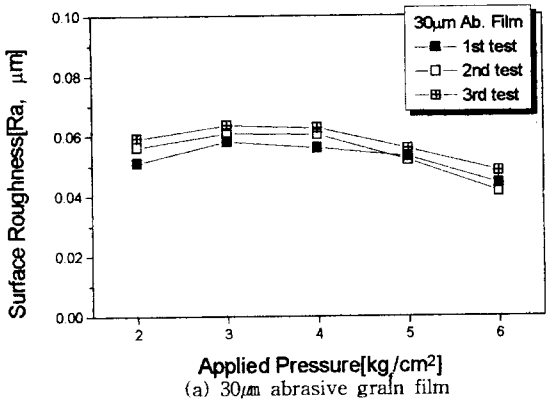
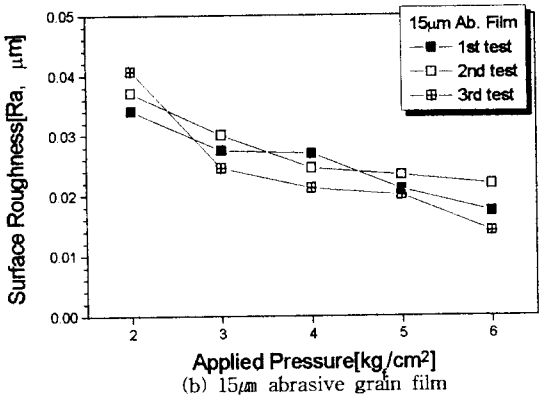


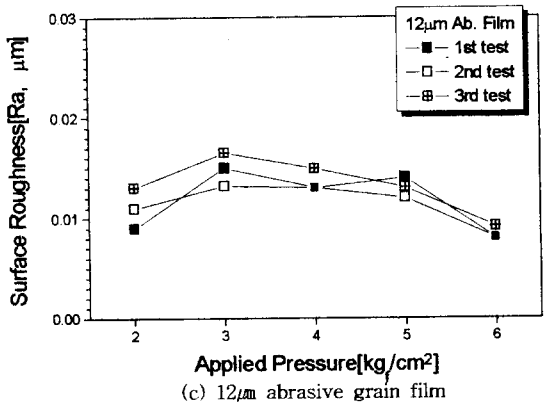
Fig. 4 Effects of film feed on surface roughness in the case of varied film grain size



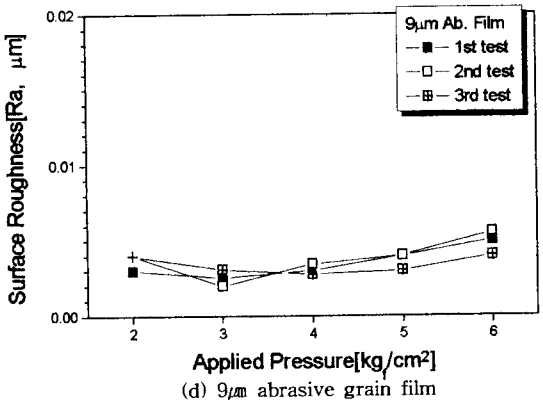
(a) 30㎛ abrasive grain film



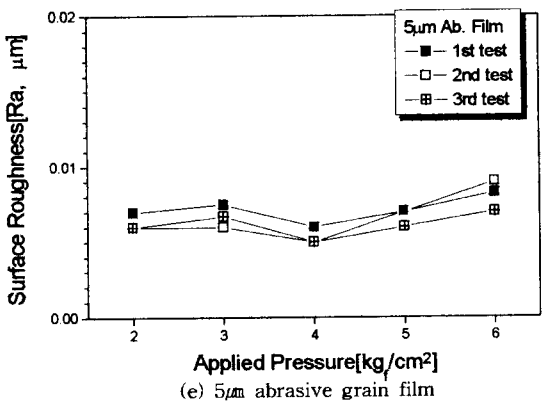
(b) 15㎛ abrasive grain film



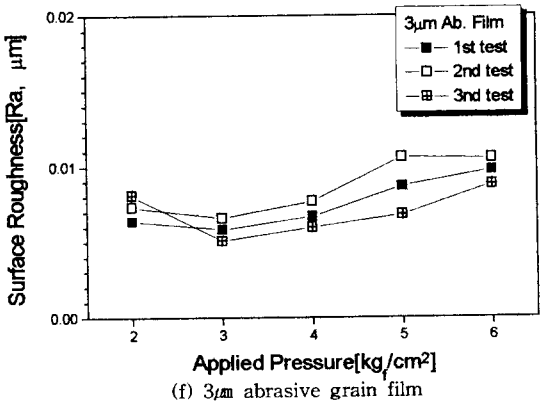
(c) 12㎛ abrasive grain film



(d) 9㎛ abrasive grain film



(e) 5㎛ abrasive grain film



(f) 3㎛ abrasive grain film

Fig. 5 Effects of applied pressure on surface roughness in the case of varied film grain size