

### 3-표오 척의 동적 파악력에 관한 연구

박태원\*, 提正臣\*\*, 渡嘉敷潔\*\*

\* : 전주공업전문대학

\*\* : 동경농공대학기계시스템공학과

#### 1. 서론

최근 기계가공의 고능률화와 고정도화를 위하여 공작 기계의 고속화의 요구가 해가 갈수록 높아지고 있다. 특히 터어닝센터(Turning Center)에 있어서도 주축회전수가 1만 rpm 정도의 고속화, 고출력화와 함께 공구의 고속, 중전삭을 향한 성능향상이 진전되어 가고 있으나, 기계-공작물-공구의 전삭 시스템 중에서 기계와 공작물을 연결하는 인터페이스로서, 고속화될 척의 개발이 늦어져서 기계의 고속화를 저해하는 하나의 요인으로 지적되어 지고있다.<sup>1)</sup>

척에 있어서 고속화를 저해하는 가장 큰 원인은 회전할 때 발생하는 파악력 저하이다.<sup>2,3,4)</sup> 특히, 고속회전시에는 표오(Jaw)에 원심력이 크게 발생하여 파악력이 떨어져 공작물이 흔들리기 때문에, 가공정도의 저하와 심하게는 공작물의 이탈 등의 문제가 발생하고 있다.<sup>5,6)</sup> 이러한 원심력에 의한 파악력 저하를 고려한 내원심력 기구<sup>7)</sup> (예, 카운터웨이트(Counter Weight) 등)를 갖춘 척이 있으며, 표오나 마스터 표오(Master Jaw)를 CFRP로 만들어 경량화하는 대책을 고안하고 있으나,<sup>8)</sup> 가격이나 기능 특성면에서 만족스럽다고 볼 수 없다.

지금까지 사용되어지고 있는 척에는 표오(Top Jaw)나 마스터 표오의 형상, 웨지(Wedge)나 크랭크(Crank)에 의한 파악력 전달기구, 수동이나 유압에 의한 파악력 발생방법, 반경방향 및 축방향 등의 파악방향에 따라 여러가지 종류가 있다. 그 중에도 수동의 스크류 척(Scroll Chuck)이나 단동 척보다도 파악조작을 동력에 의하는 파워 척(Power-Chuck)이 표준장비로 되어 가고 있다.<sup>9)</sup>

파워 척의 경우 최근에는 사용상 안전을 고려한 여러가지의 한계 회전속도가 제시되고 있다.<sup>10,11)</sup> 이것은 「회전중의 표오에 발생하는 계산상의 원심력의 합계가 척의 최대파악력의 2/3를 초과하지 않을 것, 이라는 스크류 척의 기준<sup>12)</sup>을 거의 기준으로 하고 있으나, 척의 메이카가 메이카 나름 대로 각 각의 파악력 검출기로 계산한 값용 기준으로 하기도 한다. 그러나 파워 척의 경우가 스크류 척의 경우 보다 파악력의 감소율이 크고,<sup>13)</sup> 동적파악력(회전중의 파악력을 말함)은 표오의 질량이나 회전반경, 공작물의 형상이나 강성 등의 각종의 인자에 의하여 감소의 비율이 다를 수 있다고 있다.<sup>14)</sup> 따라서 이러한 사용기준으로는 안심하고 사용할 수 있는 한계가 불확실하기 때문에, 명확한 안전기준을 설정하기 위하여 동적파악력의 거동을

규명하는 연구가 필요하다.

지금까지의 3-표오 척의 회전중의 파악력 저하에 관한 연구로서는 스트레인 게이지와 압전소자를 이용하는 파악력계나,<sup>15,16,17)</sup> 공작물의 표오 파악부에 로드 와셔(Load Washer)와 슬립(Slip Ring)을 사용한 파악력계<sup>18)</sup>가 이용되고 있다. 그러나 이러한 파악력 검출기의 강성이 명확하지 않기 때문에 측정되어진 데이터에는 일반성이 없다.

따라서 본 연구에서는 여러가지 크기의 파악력 검출기를 제작하여 사용하고, 표오의 질량이나 파악위치로부터 변화시켜 3-표오 파워 척에 관한 각종 인자와 동적파악력의 관계를 밝히고, 동적파악력의 이론적 추정을 하는 것을 목적으로 한다.

#### 2. 실험장치 및 방법

##### 2.1 척과 파악력 검출기

파워 척에는 그랭크에 의해 표오를 구동하는 레바 타이프와 웨지에 의해 표오를 구동하는 웨지 타이프가 있다. 본 실험에서는 웨지 타이프를 사용했으며, 드로 바(Draw Bar)에 의한 척 내의 웨지 플런저에 전달된 축 방향의 운동이, 웨지 플런저와 마스터 표오에 설치된 웨지 부에 의하여 반경 방향의 운동으로 변환하여 파악력이 발생한다. 표오는 Fig.1 같이 높이 40mm, 55mm, 80mm, 105mm 의 4 종류를 제작하여 각각 사용하였다.

본 연구에서 개발 제작한 공작물형 검출기의 형상은 Fig.2 와 같다. 직경은 40mm, 65mm, 80mm, 100mm 의 4 종류로서 반경방향으로 상사형이며, 축 방향의 두께는 모두 30mm 이다. 3 번의 중앙에 홈을 파 내어 감도를 높게 하고, 이 부분에 스트레인 게이지를 부착하여 4-게이지법으로 측정하였다.

동적파악력의 실험장치를 Fig.3 에 나타낸다. 회전 시의 파악력을 측정하기 위하여, 척 내부의 드로 바 내에 스트레인 게이지 전용송신기와 수은전지가 넣어져 있다. 이들의 척 및 파악력 검출장치는 Fig.4와 같이, 10000 rpm 까지 회전 가능한 척의 시험 전용의 고속 주축 유니트(Unit)를 부착 시켰다. 실험은 드로 바를 미소량씩 움직여 파악력을 가했다. 이때의 파악력은 스트레인 전용송신기의 안테나를 통하여 송신되면 수신기에서 수신하여 X-Y 레코더에 기록된다. 회전할 때의 동적파악력의 측정도 같은 방법으로 비접촉인 무선식의 동적 스트레인 게이지를 이용한다.

## 2.2 실험방법

표오에 작용하는 원심력  $F_c$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_c = m\omega^2 r = (2\pi/60)^2 m r n^2 = a_c n^2 \quad (1)$$

단,  $m$ : 질량,  $r$ : 회전반경,  $\omega$ : 각속도,  $n$ : 매분당 회전수,  $a_c$ : 계수

동적파악력  $F_d$ 는 초기파악력  $F_0$ 와 원심력  $F_c$ 로부터

$$F_d = F_0 - \beta F_c \quad (2)$$

이다. 단,  $\beta$ : 공작물의 강성과 표오의 파악강성 등에 의하여 결정되는 정수

본 연구에서는 이 원심력  $F_c$ 가 표오에만 작용하는가 또는 척의 각부의 영향도 포함하는가를 검토하고, 정수  $\beta$ 가 공작물이나 표오의 파악강성 등과 어떠한 관계가 있는가를 추정하기 위하여 다음과 같이 실험을 한다.

초기파악력은 5KN, 10KN, 15KN의 3가지로 변화시켰다.

표오는 높이 (h)를 4종류로 하여 표오의 질량을 변화시키고, 검출기의 직경 (d)도 4종류로 변화시켜서 공작물의 강성을 변화시키고, 각 각 회전반경을 여러가지로 변화시키며 실험을 하였다. 이때 표오에 작용하는 원심력의 영향이 동등하다고 생각할 수 있는 표오의 중앙부(h/2)에서 파악하는 경우와, 표오의 파악강성에 의한 영향이 같다고 생각할 수 있도록 표오의 근원에서의 거리를 동일한 위치에서 파악하는 등, 2종류에 대하여 추정하였다.

다음에 h=105mm의 표오에 파악위치를 축방향으로 3개소로 변화시키면서 추정하고, 이때 파악위치는 표오의 근원에서 파악하는 검출기의 두께의 중앙까지의 거리를  $z$ 로 표시한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 동적파악력에 미치는 원심력의 영향

표오의 질량을 여러가지로 변화시키고 파악하는 위치를 각각 표오의 근원에서  $z=20\text{mm}$ , 표오의 중앙부(h/2)에서 파악하여 동적파악력을 측정할 결과는 Fig.5와 Fig.6과 같다. 동적파악력은 회전속도의 상승과 함께 2차 곡선적으로 감소하고 있고, 표오의 질량이 증가함에 따라서 동적파악력의 감소하는 비율이 크게 되는 것을 알 수 있다. 또 양쪽 모두 질량의 증감이 동적파악력의 감소 비율에 크게 영향을 주고 있다.

이와 같은 표오의 질량과 동적파악력과의 상관 관계를 자세히 알기 위하여, 척의 질량으로 계산한 표오에 작용하는 원심력과 실제에 회전에 의하여 감소한 파악력(감소파악력)의 관계를 검토하였다. 원심력이나 동적파악력은 회전속도에 의하여 변화하기 때문에, 표오에 작용하는 계산상의 원심력의 증가의 비율을 표시하는 양으로서는 식(1)의 계수  $a_c$ (질량무관량에 상당)를 이용하고, 또 동적파악력의 감소비율을 표시하는 양으로서는 회전속도-파악력 곡선의  $n^2$ 의 계수  $a_1$ 를 이용하여 양자를 비교하였다.

여기서

$$F_1 = F_0 - F_d = a_1 n^2 \quad (3)$$

$F_1$ : 감소파악력,  $a_1$ : 계수

또 원심력에 대한 감소파악력의 감소 비율을 식(2)와 식

(3)으로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\beta = F_1 / F_c \quad (4)$$

위의 (4)식에 실험결과를 대입하여  $\beta$ 를 구하여, 각종 인자와 어떠한 관계가 있는가를 검토할 수 있다.

먼저 표오의 파악강성을 일정하게 하기 위하여, 표오의 근원에서의 거리가 일정한 위치( $z=20\text{mm}$ )에서 파악한 경우의  $a_c$ 와  $a_1$ 의 관계를 Fig.7(a)에 나타낸다.  $a_c$ 가 증가함에 따라  $a_1$ 도 증가하나 완전한 비례관계는 아니다. 이것은 파악위치를 표오의 중앙부( $z=h/2$ )로 하지않고 표오의 높이에 관계없이  $z=20\text{mm}$ 에서 파악했기 때문에, 표오의 높이의 변화에 의한 중심과 파악위치의 관계가 변하여 파악력에 미치는 원심력의 영향이 동일하지 않기 때문이라고 생각된다.

그래서 동적파악력의 감소에 미치는 원심력의 영향이 같다고 고려된 중앙부에서 파악한 경우의  $a_c$ 와  $a_1$ 의 관계를 Fig.7(b)에 나타낸다. 그림에서  $a_c$ 와  $a_1$ 의 관계가 비례관계인 것을 알 수 있다. 직경이 다른 각각의 검출기에서 거의 직선이 되며, 검출기의 직경이 변하면 검출기의 강성이 변하기 때문에, 동적파악력의 감소의 비율이 변하여 직선의

기울기가 변한다. 또 이 직선들이 거의 원점을 통과하는 것으로부터, 동적파악력에 영향을 주는 원심력은 표오에 작용하는 원심력이 가장 문제가 되며, 척 본체나 마스타표오 등에 작용하는 원심력은 고려하지 않아도 된다고 생각한다.

### 3.2 동적파악력에 미치는 공작물강성의 영향

공작물의 직경을 변화시켜 표오의 중앙부( $z=h/2$ )와 표오의 근원( $z=20\text{mm}$ )에서 파악하여 측정할 동적파악력의 결과를 Fig.8과 Fig.9에 나타낸다. 양쪽 모두 검출기의 직경이 클수록 파악력의 감소의 비율이 크게 된다. 그러나 검출기의 직경을 변화시킨 공작물의 강성과 함께 회전반경도 변화하기 때문에, 어느 쪽의 영향인 지를 알 수 없다.

그래서 Fig.8과 Fig.9와 식(4)에서 검출기의 직경과  $\beta$ 와의 관계를 구한 결과는 Fig.10과 같다. 마찬가지로 검출기의 직경이 클수록  $\beta$ 의 값이 커지며, 검출기의 직경  $d=40\text{mm}$ 의 경우가  $\beta$ 의 값의 흠어짐이 크다. 이것은 직경이 작아서 중심이 잘 맞지 않기 때문이라고 생각된다. 역시 Fig.8과 Fig.9에서도 동적파악력의 값이 흠어짐이 있음을 알 수 있다.

전 결의 Fig.7(b)에서 이 직선의 기울기는  $F_1/F_c$  ( $=a_1/a_c$ )이므로  $\beta$ 를 의미하며, 직선의 경사  $\beta$ 가 다른것은 검출기의 강성이 다르기 때문으로 간주된다. 즉, 계수  $a_c$ 의 증가와 함께 파악위치가 다르기 때문에, 직선에 가까우나 파악강성에 의한  $\beta$ 값의 변화가 포함되어 있다.

공작물의 강성을 변화시키면 동시에 회전반경이 변하여 반경방향의 파악위치와 파악강성 관계가 확실치 않고, 검출기 직경에 의한 강성의 차가 그 만큼 크기 때문에 공작물 강성과  $\beta$ 에 대해서 명확한 관계를 얻어내지 못했다. 그러나 공작물 강성이 클수록  $\beta$ 의 값이 커지고, 동적파악력의 감소비율이 커짐을 알 수 있었다.

### 3.3 동적파악력에 미치는 파악위치의 영향

드로바(Draw bar)의 수평방향의 이동은 마스터쥬오(Master jaw)를 반경방향으로 이동 시키므로, 드로바의 이동량과 파악에 의한 쥬오의 굽힘 관계를 고려해 볼 수 있는 것이다. 그래서 파악위치와 쥬오의 파악강성의 관계를 밝히기 위하여, 파악위치를 파라메타로 하여 드로바의 이동량과 파악력의 관계를 Fig.11에 나타낸다. 그림에서 이동량과 파악력은 비례관계를 가지며, 쥬오의 높이에 관계없이 근원부터의 거리 z가 같으면, 드로바와 파악력의 관계를 나타내는 직선은 거의 같다. 이 결과로부터 쥬오의 근원부터의 거리 z에 의해 파악강성이 결정되고 쥬오의 선단보다 근원쪽이 파악강성이 높은 것을 알 수 있다.

다음에,  $h=105mm$ 의 쥬오에 파악위치를 3 개소로 하여 파악하였을 때의 파악위치에 따른 파악력의 변화를 Fig.12에 나타낸다. 파악위치가 척에 가까울 수록 파악력의 감소의 비율이 크다.

그래서 Fig.12와 식(4)로부터 파악위치와  $\delta$ 와의 관계를 구하여 Fig.13에 나타낸다. 여기서도 파악위치가 쥬오의 근원에 가까울 수록 즉, 쥬오의 파악강성이 클수록  $\delta$ 의 값이 커진다. 검출기의 직경  $d=100mm$ 인 경우에  $\delta$ 의 값이 큰 것은 전 항에서 서술한 바와 같이 검출기의 강성이 다른 검출기 보다 크기 때문으로 고려된다.

따라서 파악위치에 따라 동적파악력의 감소의 비율이 크게 다르고, 쥬오의 선단부일 수록  $\delta$ 의 값이 작아 동적파악력의 감소의 비율이 작은 것을 알 수 있다.

### 3.4 이론적 고찰

같은 크기의 원심력이 발생하여도 척의 강성과 공작물의 강성의 비에 따라서 파악력의 감소의 정도가 다르기 때문에, 제안된 이론식(4)을 중심으로 본 실험의 결과와 비교 검토한다. 이 이론식은 쥬오와 척 본체로 이루어진 채 및 공작물을 각각 스프링으로 가정하고 있다. 이 이론식의 모델을 Fig.14와 같이 나타낼 수 있다. 쥬오의 파악강성을 스프링상수  $K_J$ , 공작물의 강성을 스프링상수  $K_w$ 로 하여 원심력  $F_c$ 에 의한 쥬오의 변형량을  $\delta$ 라면, 식(2), 식(3), 식(4)에서 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$K_o = K_w + K_J \quad (5)$$

$$\delta = \frac{F_c}{K_o} = \frac{F_c}{K_w + K_J} \quad (6)$$

$$F_I = \delta K_w = \frac{K_w}{K_w + K_J} \cdot F_c \quad (7)$$

$$\beta = \frac{K_w}{K_w + K_J} = \frac{1}{1 + K_J / K_w} \quad (8)$$

단,  $K_o$ : 합성 스프링상수

즉,  $\beta$ 는 쥬오의 파악강성과 공작물 강성의 비로 결정되어진다.

이론식에 있어서 공작물의 강성 및 쥬오의 강성의 변화에 따른  $\beta$ 의 변화를 Fig.15

에 나타낸다. Fig.15(a)는 쥬오의 파악강성  $K_J$ 를 일정하게 할 경우의 공작물 강성  $K_w$ 와  $\beta$ 의 관계이고, Fig.15(b)는 공작물 강성  $K_w$ 를 일정하게 할 경우의 쥬오의 파악강성과  $\beta$ 와의 관계이다. 그림에서 공작물 강성이 커지면  $\beta$ 는 커지고, 쥬오의 파악강성이 커지면  $\beta$ 는 작아진다. 이것들과 비교하기 위하여 실험결과를 정리하여 Fig.16에 나타낸다.

실험결과에서는 공작물 강성이 커지면  $\beta$ 도 커져 이론식과 일치되나, 쥬오의 파악강성이 커지면  $\beta$ 도 커져 이론식에 일치되지 않는다. 또 이론식에서는  $\beta$ 가 1 이하 이나 실험결과에서는 0.5에서 1.4 정도까지 되어 이론식에 합치되지 않는다.

이상의 이론적인 고찰의 결과, 기존의 이론식의 재검토가 필요하다고 고려되어진다. 또 정지 상태하에서 쥬오의 파악력에 대한 변형 메카니즘도 재검토할 필요가 있다고 생각되어진다.

### 4. 결 론

본 연구에서는 3-쥬오 파워 척의 동적파악력에 미치는 각종 인자의 영향을 실험적으로 파악하고, 동적파악력의 이론적 추정방법을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 동적파악력의 감소에 영향을 주는 원심력 중에는 쥬오에 작용하는 원심력의 영향만 고려해도 좋다.
- 2) 공작물의 강성이 클수록 동적파악력의 감소의 정도가 크다.
- 3) 쥬오의 근원쪽 즉, 파악강성이 클 수록 동적파악력의 감소의 정도가 크다.

### 參 考 文 獻

- 1) 堀正臣 : 超高速化とインタフェース技術, 精密工學會誌 53/7 p15, 1987
- 2) V. Solaja, M. Kala, J. Zic : Some Experimental with Three-and Four-Jaw Chucks, annals of the C.I.R.P. Vol. XVI p131, 1968
- 3) H. Schulz et al. : Spancraftreserven von Backenfuttern beim Drehen bei hohen Umdrehungsfrequenzen, Werkstatt und Betrieb 118 p339, 1985.6
- 4) R. Ippolito, A. Zoppi, R. Levi : Power Actuated Three-Jaw Chucks: Analysis of Gripping Action and Implications, annals of the CIRP Vol. 34/1 p323, 1985
- 5) C. H. Kahng, H. W. Lord, T. L. Davis : The Effect of Chucking Methods on Roundness Error in the Boring Process, Journal of Engineering for Industry Vol. 98/1. p233, 1976.2
- 6) M. Rahman : Effect of Clamping Conditions on Chatter Stability and Machining Accuracy, Annals of CIRP Vol. 34/1 p339, 1985.
- 7) 佐藤公観, 太田康二郎 : チャッキングシステムにおける高効率化・高精度化への対応, 機械と工具 p34, 1991.2
- 8) 吉田嘉太郎 : 次世代高性能パワーチャック開発のための試作研究, 工作機械技術振興公園 p63, 1988
- 9) 水野寛二 : 最近のパワーチャックの展開, 機械と工具 p79 1985.7
- 10) M. J. Kala, J. Zic, V. B. Solaja : Rotational Speed Limits for Basic Types of Chuck, Annals of CIRP Vol. 28/1 p297, 1979
- 11) H. Schulz : Sicheres Spannen beim Drehen mit hohen Drehzahlen, Industrie anzeiger Nr. 25 v. 27.3

p94, 1985

12) JIS H6151, 1986

13) 土井雅博 外：チャック加工における工作物把持力検討, (第2報) 機械學會論文集 C 55/510 p455, 1989

14) 佐藤公親：高速加工のためのチャック, 機械と工具, p76 1988.7

15) N.G.Heppenstall : A Load Cell for Measurement of Chuck Grip, Precision Engineering 3/3p180, 1981

16) 門脇義次：三つづめスクロールチャックの把握力分布とその評價法, 機械學會論文集 C 49/441 p827, 1983

17) 新野秀憲, 曾原 敬, 伊東 諒：切削中のチャック把握力の経時變化, 機械學會論文集 C 55/509 p182, 1989

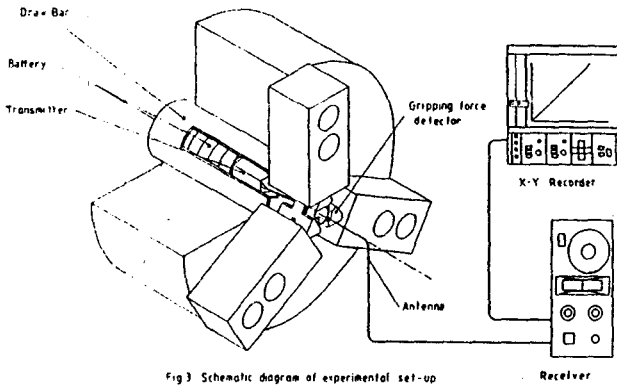


Fig 3 Schematic diagram of experimental set-up

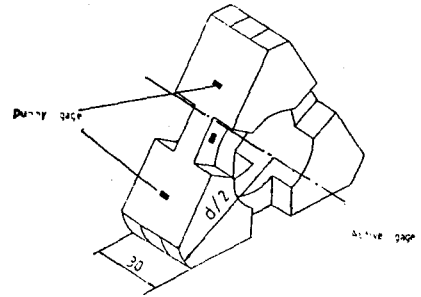


Fig 2 Schematic diagram of gripping force detector

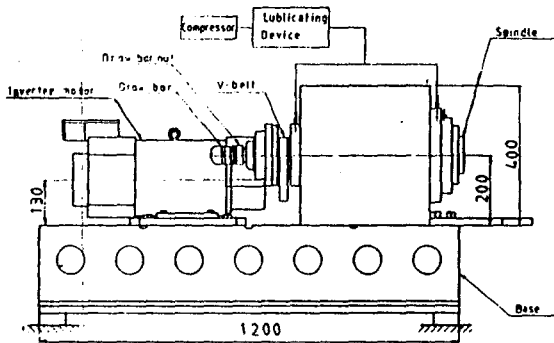


Fig 4 Schematic diagram of high-speed experimental set-up

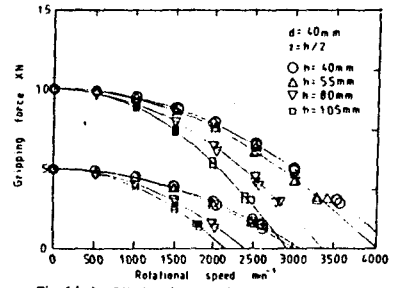


Fig 6(a) Effect of mass of jaw

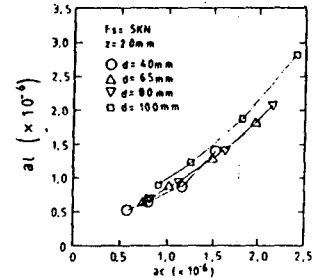


Fig 7(a) Relation between centrifugal force and decreasing gripping force

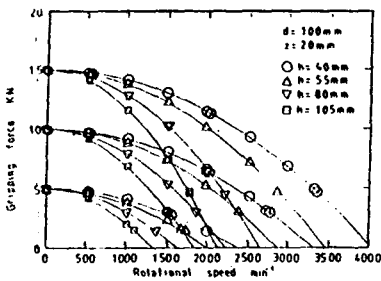


Fig 5(a) Effect of mass of jaw

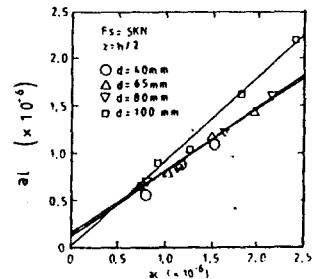


Fig 7(b) Relation between centrifugal force and decreasing gripping force

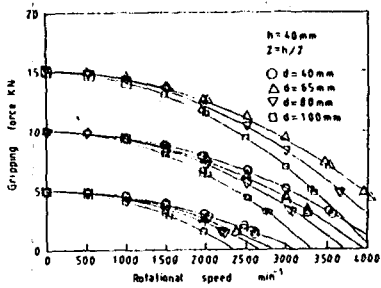


Fig. 8(a) Effect of stiffness of work

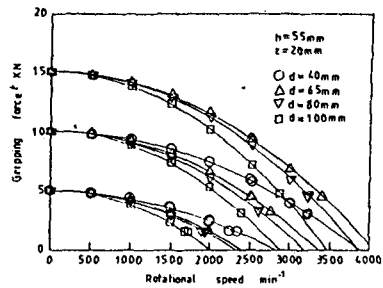


Fig. 9(a) Effect of stiffness of work

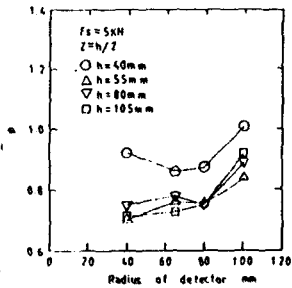


Fig. 10(a) Relation between radius of detector and  $\phi$

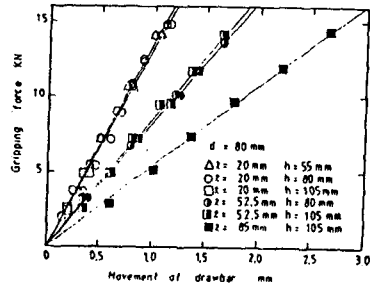


Fig. 11 Relation between Movement of drawbar and gripping force

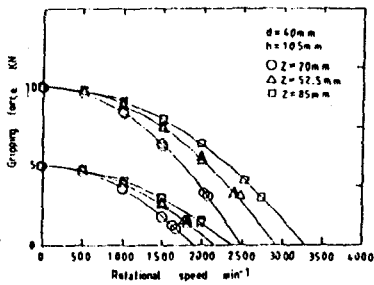


Fig. 12(a) Effect of gripping position

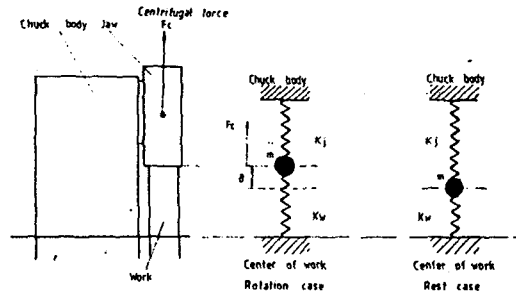


Fig. 14 Model of chuck-work system

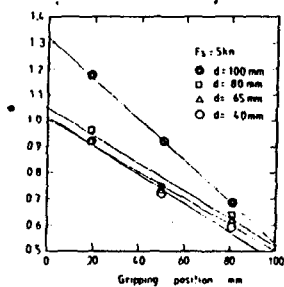


Fig. 13 Relation between gripping position and  $\phi$

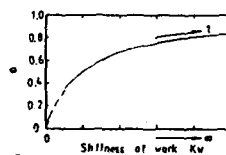


Fig. 15(a) Relation between  $K_w$  and  $\phi$  (Theoretical formula)

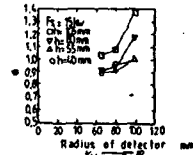


Fig. 16(a) Relation between radius of detector and  $\phi$  (Experimental value)

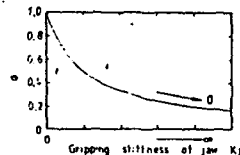


Fig. 15(b) Relation between  $K_j$  and  $\phi$  (Theoretical formula)

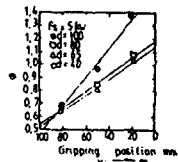


Fig. 16(b) Relation between radius of detector and  $\phi$  (Experimental value)