

油圧パワーチャックの性能に関する研究  
(第2報 無負荷時の把握力に関する実験)

濱 邦彦\* 石垣大連\*\* 佐藤元太郎\*\*\* 小松久誌\*\*\*\*  
(昭和53年10月31日受理)

An Investigation on the Performance of  
a Hydraulic Power Chuck (2)  
(Experiments on the grasping force with no load)

Kunihiko HAMA, Dairen ISHIGAKI, Mototaro SATO  
and Hisashi KOMATSU

When one cuts some work with a lathe, the gripping force of the chuck decreases with the increase of the turning speed. Because the mechanism of the decrement of the gripping force had not been cleared up precisely, the author worked out a device for experiments to measure the effect of the centrifugal force precisely and tried to explain the mechanism of the gripping force decrement by an experimental method.

According to the results of the experiments, the following items became clear.

- (1) The total chuck efficiency is about 0.288.
- (2) When the axial thrust of the rotary cylinder decreases, the grasping force of the chuck decreases in a much less ratio than the former owing to the selflocking effect.
- (3) Even under the same supplied pressure, the grasping force spatters in a broad extent.
- (4) As the effect of the centrifugal force  $P_F$  acting on the top jaws, the grasping force decreases about  $0.4P_F$  due to the elasticity and friction of the top jaws.

## 1 緒 言

切削加工の高速化および省力化に伴って高速回転時におけるチャックの把握力が問題となる<sup>1)~7)</sup>。高速回転時には低速回転時に比較してさらに大きな把握力を必要とするにも

---

\* 機械工学教室 助手  
\*\* 機械工学教室 教授  
\*\*\* 機械工学教室 講師  
\*\*\*\* 大学院修士課程 (現在 信州精器)

かかわらず、把握爪に作用する遠心力の効果によって把握力は著しく減殺される。目下のところこの減殺作用の本質的なメカニズムが解決されていないので、筆者は実験装置を作成しこの現象の解明に努力した。

本論文においては油圧パワーチャックのうちの楔形三爪チャックの把握力について、全チャック効率 $\eta$ と回転時において爪の遠心力の影響による把握力の減少についての考え方を示し、実験方法と測定方法を述べ、引続いて実験結果とそれに対する考察をし、無負荷時の把握力についてその現象を明らかにした。

## 2 チャック静止時の把握力

### 2.1 楔形三爪チャックの増力比と効率

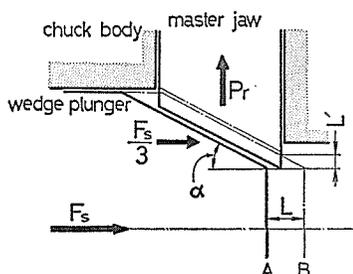


Fig. 1 The wedge mechanism with a wedge plunger and master jaws

ウェッジプランジャと親爪の楔機構の一つを図示すると Fig. 1 のようになる。簡単のために各部分の間の摩擦はないものとして考える。

シリンダの軸力を  $F_s$ 、チャックの親爪のひとつに伝達される力を  $P_r$ 、ウェッジプランジャの傾斜したT溝の傾斜角を  $\alpha$  とする。いま軸方向にウェッジプランジャがAの位置からBの位置へLだけ動いたとすると、親爪は半径方向にL'だけ動く。ウェッジプランジャと親爪の間等の運動部分の摩擦を考えない場合、加えた仕事はなされた仕事に等しいから

$$\frac{F_s}{3}L = P_r L' \quad (1)$$

ここで  $L' = L \tan \alpha$  であるから

$$P_r = \frac{F_s}{3} \cdot \cot \alpha \quad (2)$$

ここでシリンダの軸力  $F_s$  とチャックの親爪三つにかかる力との増力比を  $\gamma$  とすれば

$$\gamma = \frac{3P_r}{F_s} = \cot \alpha \quad (3)$$

なお当然のことながら各運動部分には摩擦が働いているが摩擦係数が明確ではない。そこで親爪とチャック本体、ウェッジプランジャとチャック本体、ウェッジプランジャと親爪との間の摩擦による損失の影響をすべてチャック効率  $\eta_{sp}$  の中に含ませて考えると、シリンダの軸力とチャックの把握力  $W_{sp}$  の関係は

$$W_{sp} = F_s \times \gamma \times \eta_{sp} \text{ [kgf]} \quad (\text{ただし } 3P_r = W_{sp}), \quad (4)$$

となる。ここでシリンダの軸力  $F_s$  は

$$F_s = \eta_{cy} \times P \times A \quad [\text{kgf}], \quad (5)$$

である。ただし  $P$  は使用油圧力、 $A$  はピストンの面積 (本実験においては引き側  $39.27\text{cm}^2$ 、押し側  $44.20\text{cm}^2$  のピストンを使用した。),  $\eta_{cy}$  はシリンダ効率である。

実際には  $\eta_{cy}$  はほとんど1.00と考えてよいので(4)と(5)から

$$W_{sp} = P \times A \times \cot\alpha \times \eta_{cy} \times \eta_{sp} = P \times A \times \cot\alpha \times \eta, \quad (6)$$

ただし  $\eta (= \eta_{cy} \times \eta_{sp} = \eta_{sp})$  は全チャック効率とする。

本実験で使用した楔形三爪チャックの場合  $\alpha = 13^\circ$  であるから、把握力  $W_{sp}[\text{kgf}]$  と使用油圧力  $P[\text{kgf/cm}^2]$  との関係は、外周把握の場合(6)式から

$$W_{sp} = P \times 39.27 \times 4.33 \times \eta \quad [\text{kgf}]. \quad (7)$$

同様に内周把握の場合

$$W_{sp} = P \times 44.20 \times 4.33 \times \eta \quad [\text{kgf}], \quad (8)$$

となる。本実験においては外周把握の場合について行なったので(7)式を使用する。

## 2.2 実験装置と実験方法

実験装置回路図を Fig. 2 に示す。この実験装置は後述するチャック回転時の把握力の

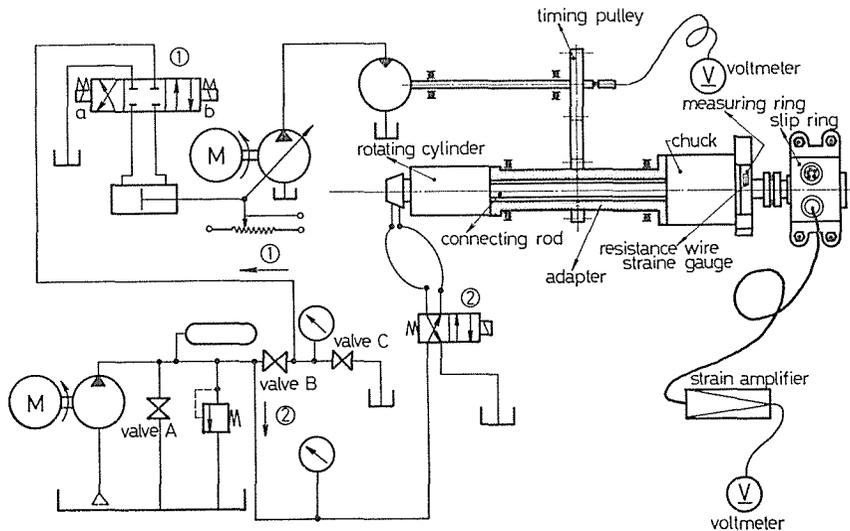


Fig. 2 The experimental devices and the system diagram showing the measuring method

測定の際にも使用される。回路図において①の電磁切換弁は使用油圧  $10\text{kgf/cm}^2$  近辺のとき一番性能がよい。一方把握用圧力は  $70\text{kgf/cm}^2$  まで使用したいので、本来ならば別々の油圧源が必要であるが、①の電磁切換弁は小流量で動くという長所を利用し、弁 *B* をわずかに開きリリース弁と弁 *C* を調整することによって、①方向に常に  $10\text{kgf/cm}^2$  の油圧を送り、②方向に最高  $70\text{kgf/cm}^2$  以上の油圧力を安定して供給することができる。

このような圧力を供給することができる油圧源を用いた理由は、この実験に使用した油圧パワーチャックの定格圧力は  $35\text{kgf/cm}^2$  であるが、一般に工作機械に用いられる油圧力が  $10\sim 70\text{kgf/cm}^2$  であるからである。圧油は切換弁を介して油圧回転シリンダに接続されている。切換バルブは電磁式切換弁を使用した。

なお Photo. 1 に油圧源装置を、Photo. 2 に油圧パワーチャックの全体図を示す。

把握力は把握力測定リングを製作し、それを把握し締付けることによって測定する。把

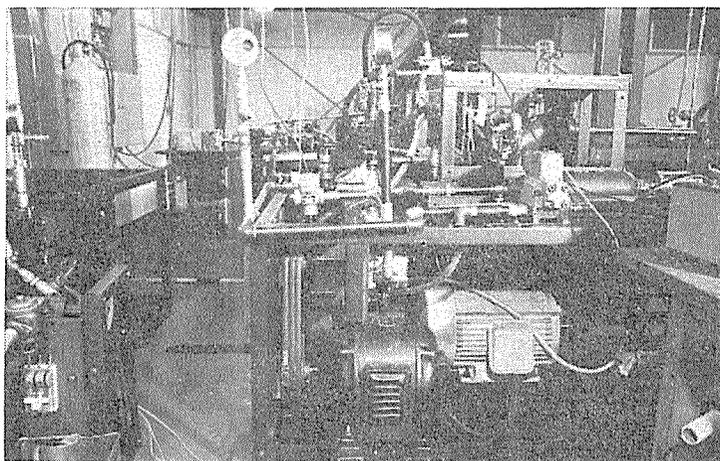


Photo. 1 The hydraulic power unit

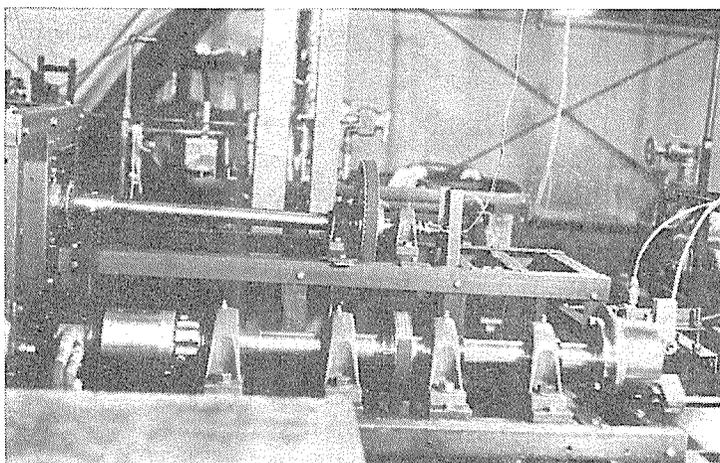


Photo. 2 The composition of a hydraulic power chuck

握力測定リングは、鋼リングに4枚の抵抗線ひずみゲージを貼って、リングに加わるひずみを電氣的に取出して記録した。

なお文献の多くは、チャックの一つの爪にかかる力を締付力、三つの爪によって工作物をチャッキングする力を把握力として区別している。よって本論文でも同様の区別をする。当然のことながら (把握力) = 3 × (締付力) の関係がある。

2.3 実験結果と考察

把握力の実験は、使用圧力  $P$  を  $5\text{kgf/cm}^2$  から  $70\text{kgf/cm}^2$  まで  $5\text{kgf/cm}^2$  おきに上昇させ、その後  $70\text{kgf/cm}^2$  から  $0\text{kgf/cm}^2$  まで  $10\text{kgf/cm}^2$  ごとに降下させて把握力を測定した。おのおのの爪について10~20回の実験値を得た。

(1) 全チャック効率

Table 1 The hydraulic pressure used and the gripping force  
 $P$ : working pressure  $W_{sp}$ : theoretical values  $W$ : experimental values  $\eta$ : efficiency

$P$ (kgf/ cm <sup>2</sup> )	$W_{sp}$ (kgf)	jaw I		jaw II		jaw III		jaw IV	
		$W$ (kgf)	$\eta$ (%)	$W$ (kgf)	$\eta$ (%)	$W$ (kgf)	$\eta$ (%)	$W$ (kgf)	$\eta$ (%)
5	850.5	261.0	30.7	113.2	13.3	215.9	25.4	101.5	11.9
10	1701.0	435.0	25.6	285.1	16.8	357.6	21.0	418.8	24.6
15	2551.5	699.2	27.4	597.5	23.4	708.8	27.8	563.8	22.1
20	3401.9	1040.7	30.6	865.2	25.4	855.4	25.2	945.6	27.8
25	4252.4	1213.1	28.5	1449.9	34.1	1282.4	30.1	1153.5	27.1
30	5102.9	1585.2	31.1	1608.6	31.5	1464.4	28.7	1569.1	30.8
35	5953.4	1988.0	33.4	1724.7	29.0	1823.7	30.6	1880.0	31.6
40	6803.9	2186.1	32.1	1873.5	27.5	2083.0	30.6	2002.5	29.4
45	7654.4	2402.0	31.4	2229.1	29.1	2492.2	32.6	2181.3	28.5
50	8504.9	2972.3	35.0	2847.7	33.5	2526.1	29.7	2509.9	29.5
55	9355.3	3112.5	33.3	2932.0	31.3	2741.9	29.3	2703.3	28.9
60	10205.8	3561.9	34.9	2959.5	29.0	3007.7	29.5	2841.8	27.8
65	11056.3	3642.5	32.9	3148.1	28.5	3283.2	29.7	2824.1	25.5
70	11906.8	3845.5	32.3	3624.8	30.4	3326.7	27.9	3232.3	27.2

(7)式によって計算した理論的把握力  $W_{sp}$ 、実験によるチャックの把握力  $W$  および全チャック効率  $\eta$  の値を4種類の爪について、それぞれ実験、計算した結果を Table 1 に示す。実験値  $W$  は10~20回の実験値の平均値である。表中の全チャック効率  $\eta$  は定義により (実験値  $W$ ) ÷ (理論値  $W_{sp}$ ) × 100% で計算した。

各爪ごとの全チャック効率  $\eta$  の平均をとってみると

- 爪 I のとき  $\eta = 31.4\%$ ,
- 爪 II のとき  $\eta = 28.5\%$ ,
- 爪 III のとき  $\eta = 28.4\%$ ,
- 爪 IV のとき  $\eta = 27.1\%$ ,

となり爪の形状による差はほとんどない。よって4種類の爪の平均をとると

$$\text{全チャック効率 } \eta = 28.8\%, \quad (9)$$

となる。

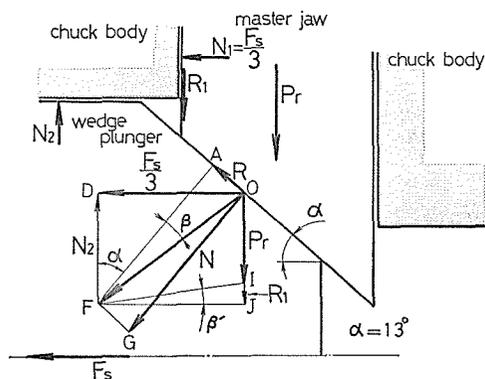


Fig. 3 The vector diagram of forces considering the friction of moving parts

効率が28%程度しか出ないのはチャック本体内部の運動各部分の摩擦にその主な原因があると思われる。よって Fig. 3 のように摩擦力を考慮して力の関係を検討する。ただし  $\frac{F_s}{3} = \overrightarrow{OD}$  は一つの親爪に作用する軸力、 $R = \overrightarrow{OA}$  は親爪とウェッジプランジャの間の摩擦力、 $N_1$  は親爪側壁の垂直抗力、 $R_1 = \overrightarrow{IJ}$  は  $N_1$  による親爪側壁の摩擦力、 $N_2$  はウェッジプランジャ側壁に働く垂直抗力、そして  $N$  はウェッジプランジャの斜面に働く抗力、 $P_r$  は一つの親爪に伝達される締付力である。

図から締付力  $P_r$  は

$$P_r = \overrightarrow{OG} \cos \alpha - \overrightarrow{OA} \sin \alpha - \overrightarrow{IJ}. \quad (10)$$

ここで  $\overrightarrow{OG} = N$  であるから  $\overrightarrow{OA} = R = \mu N = N \tan \beta$  とする。また  $\overrightarrow{IJ} = R_1 = \mu' N_1 = \frac{F_s}{3} \tan \beta'$  とする。したがって(10)式は

$$P_r = N \cos \alpha - N \sin \alpha \cdot \tan \beta - R_1. \quad (11)$$

ところで  $N = \overrightarrow{OG} = \overrightarrow{OF} \cos \beta = \overrightarrow{OD} \frac{\cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{F_s}{3} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$  であるから式(11)は

$$P_r = \frac{F_s}{3} \left\{ \cot(\alpha + \beta) - \tan \beta' \right\}, \quad (12)$$

となる。実験によれば式(9)より軸力  $F_s$  に対し有効把握力は  $0.288 \times \cot 13^\circ = 1.247$  倍

になる。これは一つの爪の  $\frac{F_s}{3}$  と  $P_r$  の関係についても同様であるから式(12)から

$$P_r = 1.247 \cdot \frac{F_s}{3} \tag{13}$$

式(12)と式(13)より

$$\cot(\alpha + \beta) - \tan\beta' = 1.247. \tag{14}$$

材質が軟鋼の場合の摩擦係数  $\mu=0.35\sim0.4$  であるので  $\mu=0.35$  と仮定すると、 $\beta=\tan^{-1} 0.35=19.3^\circ$ 、 $\alpha$ は $13^\circ$ であるから式(14)から  $\beta'=18.5^\circ$  が得られる。よって Fig. 3 による考え方はほぼ実地的であると思われる。

(2) セルフロック効果

Table 2 に一度使用圧力を  $70\text{kgf/cm}^2$  まで上げそこから圧力を降下させていった場合の把握力の変化と、使用圧力  $70\text{kgf/cm}^2$  のときの把握力を100とした場合の指数を示す。

この場合も爪の形状による顕著な差があるとは思われないので、 $70\text{kgf/cm}^2$  のときの把握力を100としたときの指数を各使用圧力ごとに平均値で表わすと Table 3 のようにな

Table 2 The change of gripping force when the hydraulic pressure is decreased continuously

$P$  : working pressure  $W$  : experimental values  $\kappa$  : index number,  $70\text{ kgf/cm}^2=100$

$P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	jaw I		jaw II		jaw III		jaw IV	
	$W$ (kgf)	$\kappa$						
70	3845.5	100	3624.8	100	3326.7	100	3232.3	100
60	3811.6	99.1	3597.6	99.3	3289.7	98.9	3218.8	99.6
50	3774.6	98.2	3547.0	97.9	3197.8	96.1	3170.5	98.1
40	3732.7	97.1	3508.2	96.8	3138.2	94.3	3128.6	96.8
30	3695.6	96.1	3467.6	95.7	3075.4	92.5	3089.9	95.6
20	3653.8	95.0	3418.2	94.3	3007.7	90.4	3041.6	94.1
10	3603.8	93.7	3374.6	93.1	2940.1	88.4	2991.6	92.6
0	3571.6	92.9	3330.0	91.9	2864.4	86.1	2948.1	91.2

Table 3 The mean value of indexes

$P$  : working pressure  $\kappa_{av}$  : average index number

$P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\kappa_{av}$	$P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\kappa_{av}$
70	100	30	95.4
60	99.2	20	93.5
50	97.6	10	91.9
40	96.3	0	90.5

る。この結果をみると 70kgf/cm<sup>2</sup> から 0kgf/cm<sup>2</sup> まで使用圧力が低下しても把握力はわずかに10%弱しか減少しない。この現象はセルフロック効果であり楔形チャックの特長の一つである。

いまシリンダの軸力が使用油圧を低下させたために  $F_s$  から  $\Delta F_{sp}$  だけ低下したとする。そのとき増力比を  $\gamma$ 、全チャック効率を  $\eta$  とすれば式(4)から

$$\Delta W_{sp}' = \Delta F_{sp} \times \gamma \times \eta \text{ [kgf]}, \quad (15)$$

だけの力が余分に工作物にかかっていることになる。この力は工作物からの反作用力として親爪からウェッジプランジヤを介して軸方向の力に変わり、シリンダのピストンを押戻そうとする。ピストンを押戻そうとする力を  $F'$  とすれば式(15)を考慮して

$$F' = \Delta W_{sp}' \times \frac{1}{\gamma} \times \eta = \Delta F_{sp} \times \eta^2 \text{ [kgf]}, \quad (16)$$

と表わすことができる。さてこの力は  $\gamma$  倍されてチャックに伝わるので、結局実際の把握力の減少量を  $\Delta W_{sp}$  とすると

$$\Delta W_{sp} = F' \times \gamma = \Delta F_{sp} \times \gamma \times \eta^2 \text{ [kgf]}, \quad (17)$$

となる（このとき  $\Delta W_{sp}'$  から  $\Delta W_{sp}$  への力の変化に対し、運動は一度しか起きないので式(16)に  $\eta$  をさらに乗ずる必要はない。）。いま Table 2 より 70kgf/cm<sup>2</sup> の使用圧力のときの把握力からの、各使用圧力における減少量を計算したものを Table 4 に示す。  $\eta$  は把握力の減少量  $F'$  を式(17)に代入して逆に  $\eta$  を求めたものである。  $\Delta F_{sp}$  は 70kgf/cm<sup>2</sup> から圧力が  $4P$ kgf/cm<sup>2</sup> だけ降下したとして  $\eta_{cy} \doteq 1.00$  と考え式(5)を使用した。

Table 4 の  $\eta$  を平均すると  $\eta=0.157$  となる。式(9)と比較した場合やや小さいが後述するように  $\eta$  にはかなり大きな開きがあること、圧力上昇時は非線形的に把握力が上昇するのに対し、圧力降下時はほぼ線形的に把握力が降下することなどの要素を考えれば式(17)は妥当性があると考え、この結果全チャック効率  $\eta$  が悪いほどセルフロック効果が

Table 4 The decreament of the gripping force and the efficiency  
 $P$  : working pressure  $F'$  : decrease of a grasping force  $\eta$  : efficiency

$P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$F'$ (kgf)					$\eta$
	jaw I	jaw II	jaw III	jaw IV	average	
60	33.8	27.1	37.1	15.5	27.9	0.128
50	70.9	77.7	128.9	61.9	84.8	0.158
40	112.8	116.6	188.5	103.7	130.4	0.160
30	149.8	157.1	251.3	142.4	175.2	0.160
20	191.7	206.6	319.0	190.7	227.0	0.163
10	241.7	250.2	386.6	240.7	279.8	0.166
0	273.9	294.7	462.4	284.2	328.8	0.166

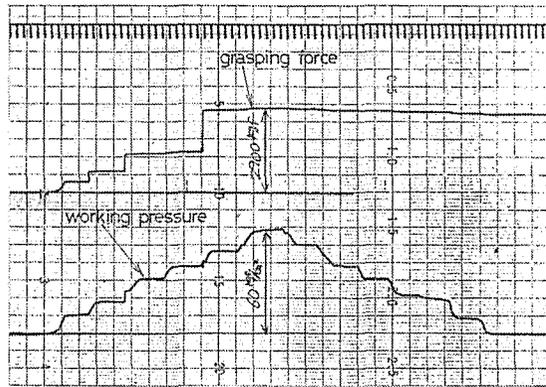


Fig. 4 The increase of gripping force and the self-lock

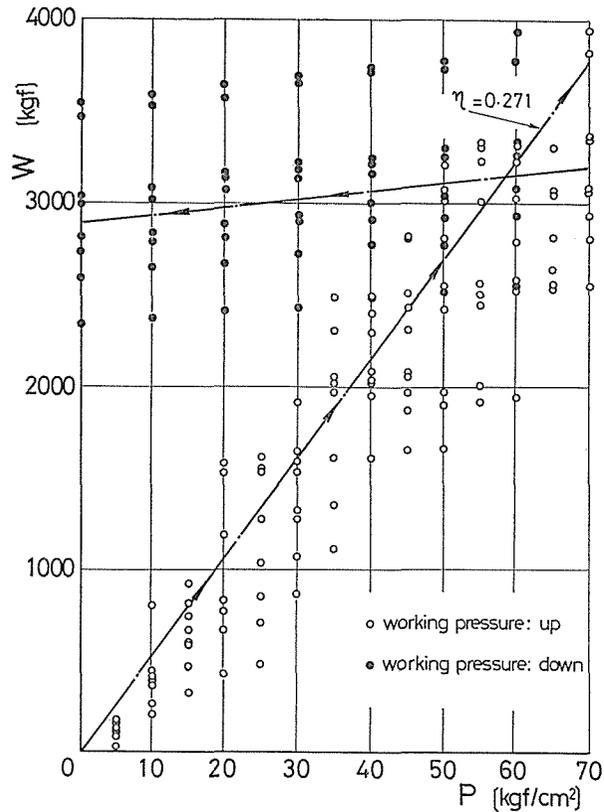


Fig. 5 The hydraulic pressure used and the gripping force

大きいという関係になる。

Fig. 4 にペン書きオシログラフで記録した使用圧力と把握力の関係の一例を示す。図における上側の特性線図が把握力を表わし、下側は使用圧力を示している。把握力特性の後半がセルフロック効果の部分である。圧力の測定には圧力ヘッドを使用した。

## (3) 把握力上昇の機構

Fig. 4 より明らかなように使用圧力の上昇と把握力の上昇は比例していない。しかも把握力の上昇の様子は極めて急激である。またこの把握力の上昇箇所は一定でなく上昇の仕方も様々である。一例として爪 I を使用して、使用圧力を  $70\text{kgf/cm}^2$  まで上昇させたときの把握力を測定した結果を Fig. 5 に示す。一見して非常に大きなばらつきがあり、したがって全チャック効率  $\eta$  も約  $\eta=0.376\sim 0.176$  となり大きな幅をもつ。

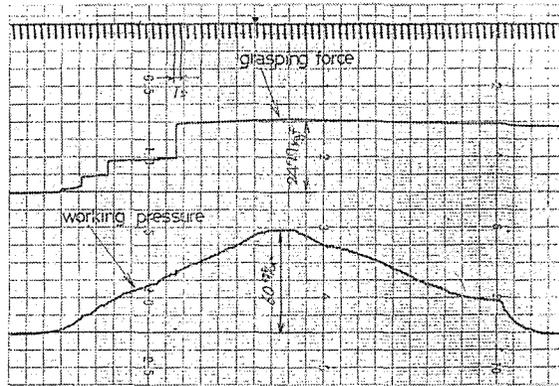


Fig. 6 The change of gripping force when the hydraulic pressure varies continuously

Fig. 6 のように連続的に圧力を上昇させたときにも把握力の上昇は間欠的に生ずる。把握力の上昇が起こるとき使用圧力が高ければ高いほど金属的な衝撃音が生ずる。この現象は把握物を測定リングのような中空のものでなく、中実なものに替えても、さらに把握物の径を変化させても生ずる。したがって Fig. 5 のような把握力の上昇の仕方は楔形チャック特有の現象のように思われる。

### 3 チャック回転時の把握力

#### 3.1 チャックの爪の遠心力

回転数の 2 乗に比例して増加する遠心力の影響は、高速回転機械においては過少評価してはならない。最近の改良形超硬工具における仕上げ切削速度は、従来の超硬工具の  $120\text{m/min}$  に対し飛躍的に高速化を可能にした。

このように工具の進歩は回転の高速化を可能にしたが、高速化がチャック本体にもたらす問題点は爪の遠心力による把握力の低下である。爪の遠心力は次式であらわされる。

$$P_F = \frac{W}{g} r_s \omega^2 \times 10^{-3} [\text{kgf}], \quad (18)$$

ただし  $P_F$  : 爪の遠心力 [kgf],

$W$  : 爪の重量 [kgf],

$g$  : 重力加速度 = 9.80665 [m/s<sup>2</sup>],

$r_s$  : 回転半径 [mm],

$\omega$  : 角速度 =  $2\pi n/60$  [1/s],

$n$  : 毎分回転数 [rpm].

この節では回転数の増加による把握力の減少量と爪の遠心力との関係について検討する.

### 3.2 実験装置と実験方法

把握爪の遠心力による三爪チャックの把握力の減少も、爪の半径方向の移動によって生じるのであるから、やはり荷重測定リングを用いチャック静止時と同じ要領で行なった。把握力の減少量は電圧計を使用して読みとった。ただチャックが静止しているときには、リングのひずみを直接取出してひずみアンプに接続すればよいが、回転中にはリングも回転しており直接取出すことができない。そこで回転体からのひずみを直接取出す変換器としてスリップリングを用いた。

#### (1) 回転数制御装置

チャックを回転させるための制御装置のブロック線図を Fig. 7 に、実験装置を Fig. 2 に示す。動作原理はまず目標値  $\theta_i$  を加えるとアンプを径て電磁弁コイル  $a$  が励磁されスプールが右側に動く。するとピストンに油が流れ変位する。ピストンに直結したポテンシオメータにより位置が検出されてアンプにフィードバックされ、目標値  $\theta_i$  と比較したときフィードバック量との誤差が電磁弁コイル  $b$  がスプールを吸引するだけあれば、コイル  $b$  が励磁されスプールが左側に動く。誤差がアンプの不感帯にはいるまで同様な動作が行

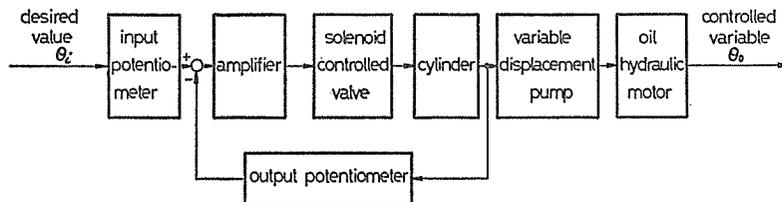


Fig. 7 The block-diagram of a revolution controlling device

なわれ、目標値  $\theta_i$  に対応する位置にピストンは止まるので油圧モータを目標の回転数でまわすことができる。この系は ON-OFF 式サーボ系であるが実験では 250rpm おきに測定したのでこれで十分である。回転数はタコジェネレータを使って電圧計で読み取った。なお可変容量ポンプの作動範囲は片方向である。

#### (2) 油圧源装置

チャックの把握用の油圧源は前節 2.2 で述べたものと同じものを使う。

### 3.3 実験結果と考察

実験は 4 種類の爪について行ない、それぞれ使用油圧  $P$  を 10~70kgf/cm<sup>2</sup> まで 5kgf/cm<sup>2</sup> ずつ変え、そのおのおのについて回転数を 250rpm ごとに上昇させ、最高 5000rpm まで回転させて、静止時の把握力からの減少量を測定した。実験は 1 つの使用油圧について 3~5 回繰返し行ない平均値をとった。

さて爪の遠心力は式(18)で表わせるが、爪の重量には親爪と把握爪の両方を考慮しなければならない。そこで式(18)は

$$P_F = \frac{1}{g} (W_t r_{st} + W_m r_{sm}) \omega^2 \times 10^{-3} \text{ [kgf]}, \quad (19)$$

ただし  $W_t, W_m$  はそれぞれ把握爪,  
親爪の重量 [kgf],  
 $r_{st}, r_{sm}$  はそれぞれ把握爪,  
親爪の重心点半径 [mm],

となる。そこで  $W_t, W_m, r_{st}, r_{sm}$  についてそれぞれ実測した結果を Table 5 に示し、Fig. 8 から Fig. 11 に各爪についての実験結果を示す。これらの図は縦軸に把握力  $W_{sp}$ 、横軸にチャックの回転数  $n$  をとってある。把握力は各回転数における把握力を平均するの

Table 5 The weight of each top-jaw and the radius of the gravity center

	$W_t$ (kgf)	$r_{st}$ (mm)	$W_m$ (kgf)	$r_{sm}$ (mm)
jaw I	1.96	85.5	1.65	56.0
jaw II	1.90	86.0		
jaw III	1.34	87.5		
jaw IV	1.15	72.5		

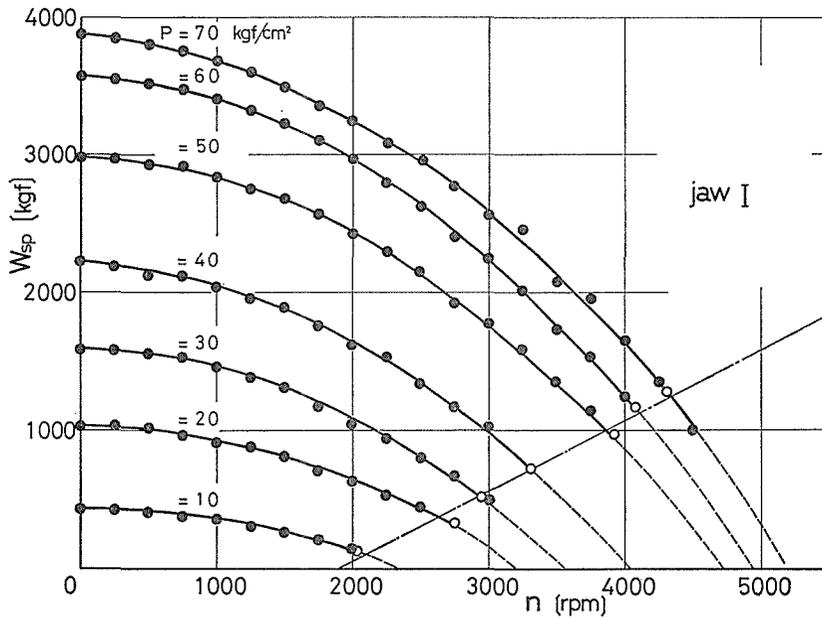


Fig. 8 The increase of rpm and the decrease of gripping force

ではなく、減少量を平均して静止時の平均把握力からの差をとってある。これは2・3で示したように静止時の把握力に大きなばらつきがあるためである。図を見てわかるように把握力の減少量は、静止時の把握力の大小に関係なく、回転数の上昇と共にほぼ平行な曲

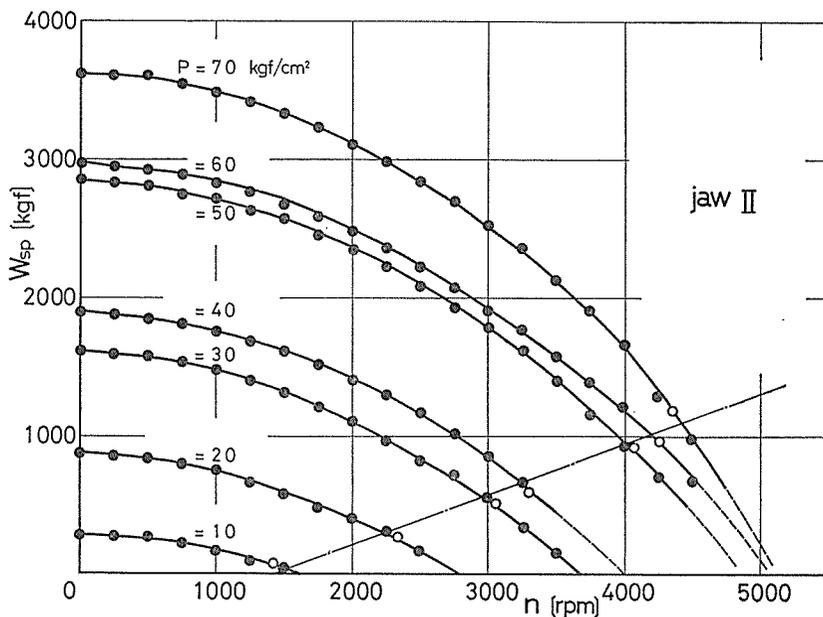


Fig. 9 The increase of rpm and the decrease of gripping force

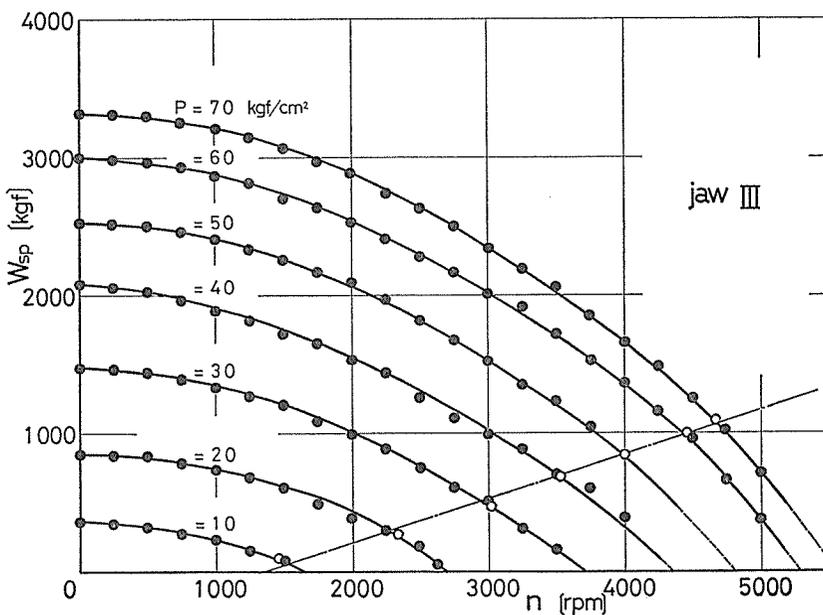


Fig. 10 The increase of rpm and the decrease of gripping force

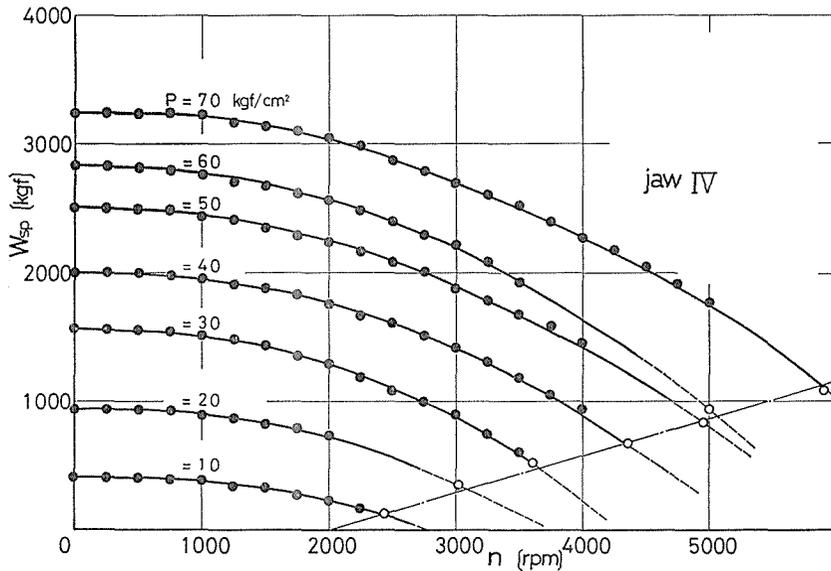


Fig. 11 The increase of rpm and the decrease of gripping force

線を描いて減少する。図中○印は把握力が最初の把握力の1/3に減少した点であり、一点鎖線はそれを最小二乗法により結んだものである。

この4つのグラフより把握力の減少量は使用油圧 $P$ にほぼ関係ないと思われるので、減少量を回転数ごとに平均し、さらに式(19)によって計算された爪の遠心力の大きさと比較してみた結果を Table 6 に示す。

さらに各回転数ごとに出ている(実験値  $F_1$  ÷ 遠心力  $P_F$ )の割合を爪ごとに平均してみると

- 爪Ⅰのとき44.1%，標準偏差2.10，
- 爪Ⅱのとき41.8%，標準偏差2.78，
- 爪Ⅲのとき46.4%，標準偏差3.01，
- 爪Ⅳのとき28.7%，標準偏差5.01，

となる。いま  $\eta_{PF}$  を

$$\eta_{PF} = \frac{\text{把握力の減少量(実験) [kgf]}}{\text{爪の遠心力(計算) [kgf]}} \quad (20)$$

と定義すると、各爪の平均をとって

$$\eta_{PF} = 0.402, \quad (21)$$

となる。この現象を考察する。

いまチャック効率を定義したと同じ考えで、爪の遠心力という半径方向の力が軸力として軸方向の力に変わるとき、その効率を  $\eta_F$  とする。爪の遠心力を  $P_F$  [kgf] とすると軸

Table 6 The relation between experimental value of the gripping force and the centrifugal force

$n$ : rotation frequency  $F_1$ : decrease of a grasping force  
 $P_F$ : centrifugal force of a jaw

$n$ (rpm)	jaw I			jaw II			jaw III			jaw IV		
	$F_1$ (kgf)	$P_F$ (kgf)	$F_1/P_F$ (%)									
250	7.1	18.2	39.0	9.5	17.8	53.1	8.0	14.6	54.7	6.1	12.2	50.2
500	31.1	72.6	42.9	26.7	71.2	41.7	28.5	58.6	48.6	14.9	49.1	30.3
750	67.2	163.3	41.2	67.1	160.3	41.9	63.2	131.8	47.9	30.9	110.6	27.9
1000	133.4	290.3	45.9	118.0	285.0	41.4	112.8	234.5	48.1	55.6	196.6	28.3
1250	217.7	453.7	48.0	187.6	445.3	42.1	182.6	366.3	49.8	87.5	307.1	28.5
1500	306.5	653.3	46.9	265.3	641.2	41.4	259.5	527.5	49.2	124.3	442.3	28.1
1750	413.4	889.2	46.5	363.1	872.7	41.6	352.0	718.0	49.0	166.5	601.9	27.7
2000	537.1	1161.4	46.3	469.4	1139.9	41.2	445.8	937.8	47.5	217.6	786.2	27.7
2250	670.2	1469.9	43.6	597.4	1442.6	41.4	557.4	1186.9	47.0	269.3	995.1	27.1
2500	809.8	1814.6	44.6	738.4	1781.1	41.5	672.2	1465.4	45.9	332.0	1228.5	27.0
2750	983.8	2195.7	44.8	885.9	2155.1	41.1	819.7	1773.1	46.2	392.2	1486.5	26.4
3000	1139.3	2612.4	43.6	1038.6	2564.7	40.5	959.0	2110.1	45.4	473.1	1767.4	26.8
3250	1303.3	3066.7	42.5	1214.9	3010.0	40.4	1107.0	2476.4	44.7	559.0	2076.7	26.9
3500	1546.6	3556.6	43.5	1398.6	3490.9	40.1	1248.8	2872.1	43.5	663.1	2408.5	27.5
3750	1745.3	4082.9	42.8	1641.6	4007.4	40.3	1407.3	3297.1	42.7	738.9	2764.9	26.7
4000	2017.8	4645.4	43.4	1863.6	4559.5	40.9	1603.8	3751.4	42.8	845.5	3146.1	26.6
4250	2303.7	5244.2	43.9	2123.8	5130.5	41.4	1795.4	4234.9	42.4	967.4	3551.3	27.2
4500	2625.9	5879.3	44.7	2392.3	5770.7	41.5	2054.0	4742.8	43.3	1112.6	3981.4	27.9
4750	—	6550.7	—	—	6429.6	—	2336.0	5290.0	44.2	1211.5	4436.1	27.3
5000	—	7258.4	—	—	7124.3	—	2621.9	5861.5	44.7	1346.8	4915.4	27.4

方向に伝わる力  $F_{PF}$ [kgf] は式(16)と同様な考えで

$$F_{PF} = P_F \times \frac{1}{\gamma} \times \eta_F \text{ [kgf]}, \tag{22}$$

だけ伝わり、使用油圧による軸力  $F_{sp}$  の力に逆らって  $F_{PF}$  [kgf] 分だけシリンダのピストンを変位さす。半径方向の力に対し軸方向の力は  $\frac{1}{\gamma}$  になるが移動距離は  $\gamma$  倍になるので、結局  $F_{PF}$  が把握力の減少に及ぼす効果  $\Delta W_{PF}$  は

$$\Delta W_{PF} = F_{PF} \times \gamma \text{ [kgf]}, \tag{23}$$

となり、式(22)を代入して

$$\Delta W_{PF} = P_F \times \eta_F \text{ [kgf]}, \tag{24}$$

だけ爪の遠心力により把握力は減少する。

ところで効率 $\eta$ の意味をエネルギーの伝達率と考えるならば、全チャック効率 $\eta$ も $\eta_F$ も方向が違っただけで同じ運動部分を通して、力が仕事として伝わる割合であるから本質的には同じ性質のものはずである。すなわち $\eta=\eta_F=\eta_{PF}$ となるはずである。

実験によれば全チャック効率 $\eta$ は0.288、 $\eta_{PF}$ は0.402となっていて $\eta$ と $\eta_{PF}$ の間には違いがあるが、これは摩擦抵抗のほかにチャックの剛性や弾性ひずみなどが微妙に働いているためと思われる。

#### 4 結 論

本研究における実験によって得られた結果はつぎのようである。

- (1) チャック静止中に得られる把握力は、油圧回転シリンダの軸力に対し、増力比を考慮した場合、全チャック効率 $\eta$  (シリンダ効率 $\eta_{cy}$ とチャック効率 $\eta_{sp}$ の積.)は $\eta=0.288$ となることを実験により得た。
- (2) シリンダの軸力 $F_s$ に対しチャックの把握力 $W_{sp}$ は、運動部分の摩擦を考慮した場合

$$W_{sp} = F_s \{ \cot(\alpha + \beta) - \tan\beta' \},$$

となることを示した (記号については2・3実験結果と考察を参照.)。

- (3) シリンダの軸力の減少量 $\Delta F_{sp}$ に対する把握力の減少量 $\Delta W_{sp}$ は、ほぼ $\Delta W_{sp}=\eta^2\gamma\Delta F_{sp}$ しか減少しないことを実験により示した。この現象はセルフロック効果である。
- (4) 使用油圧力の上昇に対し、把握力の上昇は非線形的であるので、同じ使用油圧力でも把握力にはかなりのばらつきがあることを実験により示した。
- (5) チャック回転時の爪の遠心力 $P_F$ とチャックの把握力の減少量 $\Delta W_{sp}$ との間には、 $\Delta W_{sp}=\eta_F P_F \approx 0.4 P_F$ の関係があることを実験により得た。この $\eta_F$ と $\eta$ とは密接な関係があると思われる。よって高速切削の場合には強度の許す限り軽い把握爪を使うべきである。
- (6) 以上無負荷時の実験結果から全チャック効率 $\eta$ が悪いという短所は、同時にセルフロック効果が大きい、爪の遠心力に対する把握力減少の影響を軽減するという長所となる。

終りに、資料を御提供いただいた豊和工業の細井氏、ならびに実験の手助けをしてくださった当時の卒研生梶原・仲両君に感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 坂崎勝彦：自動式チャックの性能を検討する，マシンリー，1960年9月15日号，pp.1648～1653.
- 2) 浅子保次郎：パワーチャックの傾向と問題点，応用機械工学，1975年3月号，pp.56～63.
- 3) 徳丸順教：旋盤におけるチャック，応用機械工学，1975年3月号，pp.64～70.
- 4) 坂田新吾：SOUL-WOODWORTH パワーチャック，応用機械工学，1975年3月号，pp.71～79.
- 5) Bruce A. White : New chucks meet high-speed needs, American Machinist, June, 1977, pp.87～90.
- 6) G.Pahlitzsch und H.J. Warnecke : Untersuchungen über die Steifheit handbetätigter Dreibackenfutter. VDI-Z. 101 (1959), Nr.25 1. September, 1167/1175.
- 7) G. Pahlitzsch : MEASUREMENT OF GRIPPING CAPACITY OF HAND-OPERATED THREE-JAW CHUCKS, MICROTECNIC, Vol. XIII, No.1 (1959), pp.16～19.