チャック加工における工作物把持力の検討* (第2報)

(パワーチャックの把持特性)

土井 雅博*¹,
竹内 成樹*³益子 正巳*²

Considerations of Chucking Force in Chuck Work (2nd Report)

(Chucking Behaviors of Power Chuck)

Masahiro DOI, Masami MASUKO,
Shigeki TAKEUCHI

In this paper, the chucking behaviors of power chuck were investigated experimentally. The fluctuation of chucking force during actual cutting had not yet been measured up to this time. Especially, behaviors of the chucking force under the existing of chatter vibration were ascertained in detail.

The results obtained from this study are as follow :

- (1) Fluctuation of the chucking force is generated, similar to the scroll chuck, periodically due to the combined effects of directional orientation of the chucking stiffness and the cutting force.
- (2) Under the condition of high speed spindle, the decrease of the chucking force on power chuck is bigger than that on scroll chuck by decreasing of friction force.
- (3) In the case of power chuck, the decrease of the chucking force after cutting with the mechanism of compensation is smaller than the case of scroll chuck.

Key Words: Metal Cutting, Chuck Work, Chucking Force, Chatter Vibration, Fluctuation of Cutting Force, Three Jaw Power Chuck, Directional Orientation of Chucking Stiffness

1. ま え が き

近年の高能率、高加工精度および高い融通性に対する厳しい要求のもとで、機械加工は高度な自動化が進展している。それに伴い、工具・工作物の工作機械への着脱の自動化も急激に進んでいる。また、主軸回転の高速化、高馬力化が進むなかでこれらに耐え得る工具や工作物把持部の特性が、加工系の性能を規制する重大な因子の一つになっている。その中でも、代表的な工作物把持方法の一つであるチャックについては、加工精度および高能率に及ぼす影響が大きいにもかかわらず、工作機械の周辺技術との認識からその特性の検討および改良は等閑視されている。筆者らはこの点に注目して、従来よりその基本的な特性の検討を行っている。前報¹⁾では手じめのスクロールチャックについて

て静止、回転および切削のそれぞれの条件のもとで、その工作物把持力の特徴を明らかにし、またびり振動の発生時の挙動についても検討を行っている。

現状では、手じめチャックに比べ自動化につながるパワーチャックの使用が多くなっており²⁾、迅速で強力な工作物の把持が可能となっている。しかし、このパワーチャックにおいても解決の急務とされている幾つかの問題点がある。すなわち、高速回転時の把持力の低下、シリンダの発熱、小ストロークによる融通性の低下、回転振動、位置決め精度、強力化および把持力による工作物の変形などである。これらの問題点のなかにはチャック自体の特性ばかりではなく、使用条件の影響によるものもある。しかし、いずれにしても基本的なチャックの把持特性を知ることが問題解決の第一段階となる。

そこで本研究では、前報で報告した測定装置を用いてパワーチャックの静止、回転および切削中の把持力を測定し、更にびり振動発生時の挙動を検討した。

* 昭和63年10月29日 山梨地方講演会において講演、原稿受付 昭和63年3月7日。

*¹ 正員、武蔵工業大学 (〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)。

*² 正員、名譽員 (〒158 東京都世田谷区東多摩川 2-27-8)。

*³ 学生員、武蔵工業大学。

2. 実験方法

実験装置の概略を図1に示す。工作物のチャックつめとの接触部に設けた溝に埋め込まれたロードワッシャで把持力を検出する。ロードワッシャの出力電荷は、旋盤主軸および水銀スリップリングを経て増幅され記録される。

まず、無負荷状態における設定油圧と把持力の変化を調べる。図2に併記してあるように、工作物の軸方向に2個のロードワッシャを埋め込み、各位置における出力を検出する。

次に、負荷条件と把持特性を調べる。負荷条件としては工作物円周方向および軸方向に荷重位置を移動しながら所定の静荷重を工具動力計によって作用させ、工作物とつめ間に作用する接触力を検出する。

また、動剛性および減衰特性の影響を検討するために、チャック-工作物系のインパルス加振試験を行い、所定の把持条件における系の動特性を求める。これらの試験についてはパワーチャックの特性を明らかにするためにスクロールチャックの場合と比較する。

次に、主軸回転数と把持力との関係を調べる。

最後に切削試験を行い、びり振動の発生時を含めてロードワッシャにより切削中の把持力を検出し、これらの信号を増幅後にデータレコーダに記録する。更に、トランジェントコンバータを用いてデータの時間軸を拡大し、把持力の変動をさらに詳しく検討する。

図1 実験装置の概略

Lathe	Stepless engine lathe (450×800mm, 5.5kw)
Chuck	Three jaw power chuck #8 wadge type
Work	Carbon steel S45C (φ48×270)
Cutting condi.	Cutting speed 60m/min
	Cutting depth 1mm
	Feed rate 0.38mm/rev

表1 実験条件

また、これらのデータと切削面あらさとの対応についても検討する。実験条件を表1に示す。

3. 実験結果

3.1 把持特性試験 設定油圧と把持力の関係を図2に示す。工作物との接触域で軸方向に前端、後端と2つのロードワッシャで測定したものである。いずれの場所においても、油圧の増加にともない把持力は直線的に増大している。このことから、本実験の範囲内では、つめによる工作物の塑性変形の影響は無視できるものと考えられる。また、把持力は後端が常に大きな値を示している。すなわち、この場合には、つめは先上がりの状態で工作物を把持しているのがわかる。更に、把持力にはつめの位置による相違は認められない。

この結果より、以降の試験において後端で測定をするものとし、荷重の作用下における把持力の状態を調べた。

まず、荷重位置が工作物の円周上を移動した場合のつめと工作物の接触力の変動状態を調べるために、チャックつめ端から突き出し長さ $L = 150 \text{ mm}$ の位置に荷重 $F = 500 \text{ N}$ を作用させ、この位置で旋盤主軸を一回転させ回転角 30° ごとにロードワッシャの出力を測定した。ここで、工作物を 8000 N/Jaw の条件でチャックに把持し、工作物主軸側端で接触力を検出している。この測定結果を図3に示す。図2で示したようにつめが先上がりの状態で工作物を把持しているため、支点はつめ先端よりやや内側に移動する。そのために、ロードワッシャの位置では作用力の反力を測定することになる。ここで図3に併記してあるように、回転角が 0° の場合、すなわち荷重の作用点と測定点とが同一方向にある場合(つめなし)には接触

図2 設定油圧と把持力の関係

力は最大となっている。これに対し、回転角 90° の位置では、作用力はロードワッシャの軸と直角方向になるために初期の設定把持力の値 8000 N/Jaw とほぼ一致している。また、回転角 180° の位置では、つめに向かった方向に荷重を加えた場合(つめあり)で、これは 0° の場合と逆に、ロードワッシャの位置ではつめから離れる方向に力が作用するために、接触力は最小となっている。ここで、つめなしでは設定把持力との差が 250 N であるのに対し、つめありではその差が 75 N である。これは、荷重の作用方向とつめの位置との相対関係によって生じる工作物把持剛性の方向依存性による剛性の変動と密接な関係があり、つめなしの場合には、把持剛性が低いためであると考えられる。このようなつめありとつめなしの状態における把持力の変動が一つのつめについては主軸一回転に一回の周期で生じる。次に、荷重位置を工作物の軸線方向に移動した場合のチャックつめと工作物の接触力の変化を、荷重値をパラメータとして図4に示す。いずれの荷重値の場合にも、荷重位置が工作物自由端側に移るほど、つめなしの場合には接触力は増大し、逆につめありの場合には減少している。また、荷重が大きい条件の場合ほど接触力の変化は大きくなっている。これらの結果から、荷重位置が工作物自由端側ほど、また作用力が大きいほど、チャックの工作物把持部に作用するモーメントが大きくなり、主軸一回転において生じる把持力の変動は増大することがわかる。また、この把持力の変動の程度は、つめありに比べてつめなしの場合に大きくなっている。これは前述のように工作物把持剛性の方向依存性に起因するものである。

ここで、主軸回転数と把持力の関係をスクロールチャックと比較して、図5に示す。すでに多くの報告に見られるように、スクロールチャックに比べパワーチャックの場合には、回転数の増加に伴う把持力の減少が大きいことがわかる。主軸回転数 1000 rpm までの試験ではあるが、その減少率はスクロールチャックの場合のほぼ 10% に対し、パワーチャックの場合にはほぼ 17% の減少となっている。本試験では、遠心力の補正機構の付いていないチャックを使用している。そのために、構造上、遠心力の影響をつめとスクロールとの摩擦で低減可能なスクロールチャックよりも減少率が大きくなったものである。

次に、インパルス加振試験の結果より求めた、チャック-工作物系のコンプライアンス特性を図6に示す。この場合には、むくの工作物を使用している。接触状

態が異なるために厳密な比較はできないが、スクロールチャックに比べパワーチャックの場合には、コンプライアンス値は小さくなっている。さらに、いずれのチャックにおいても図3および図4に示した結果と同様に、つめありおよびつめなしにおける剛性の方向依存性が認められる。パワーチャックの方が、その差の小さいことがわかる。

図3 接触力におよぼす荷重位置の影響(円周方向)

図4 接触力におよぼす荷重位置の影響(長手方向)

図5 主軸回転数と把持力の関係

3・2 切削試験 切削試験は、切削速度 60 m/min (主軸回転数 400 rpm) で行った。この条件において、遠心力による把持力の減少率は、図5に示すごとくほぼ2%であり、その影響は無視する。また、切削試験は、把持力 8000 、 10000 および 15000 N/Jaw の条件について行った。

変動把持力と工作物軸方向の関係を図7に示す。正常切削域においては、把持力が小さい場合ほどその変動は大きい、これに対して顕著なびり振動域では、逆に把持力が大きいほど、変動は急激に増大している。一例として、把持力 15000 N/Jaw の条件における切削中の把持力の変動状態を図中に併記する。横軸は、切削開始点から工作物自由端で切削が終了するまでの時間であり、工作物軸方向の距離とも対応する。この条件においては、チャックつめ端より $L = 165\text{ mm}$ の点からびり振動が発生している。このびり振動の発生付近から、把持力の変動が急激に増大している。また、測定の結果、切削終了後時に把持力は設定値と比較して、0.9%とわずかではあるが減少していた。この減少率は、設定把持力 10000 N/Jaw の場合には5.2%，また 8000 N/Jaw の場合には6%となり、把持力の低い場合ほど減少率は大きくなることがわかった。

ところで、前報で示したように、スクロールチャックの場合には、変動把持力の平均値は切削開始後徐々に減少していた。それに比べ、パワーチャックの場合には変動把持力の平均値の低下は、スクロールチャックに比べると少ない。これは、パワーチャックには切削中にもゆるみに対する復帰機能が働いているからである。

図6 チャック-工作物系のコンプライアンス特性

次に、把持力の変動状態をトランジェントコンバータを用いて時間拡大した結果を図8に示す。正常切削域、びり振動発生点近傍および顕著なびり振動発生域における把持力の変動状態を、設定把持力ごとに示したものである。いずれの場合にも、前述の荷重試験で示した結果と同様に、切削力の作用方向とつめの位置との相対関係によって生じる周期的な把持力の変動が、主軸回転数に対応して発生している。変動の極大値はつめなし、極小値はつめありの状態である。また、つめなしおよびつめありに対応して表われる把持力の最も大きな変動成分は、ロードワッシャ埋め込みによる剛性の低下に起因するものである。

さらに、各把持力条件における切削後の表面あらさ R_{max} を図9に示す。この場合にも、図7に示した変

図7 変動把持力の比較

図8 把持力の変動状態

動把持力とほぼ同様の傾向を示している。すなわち、正常切削域では把持力が大きいほど R_{max} は小さいのに対し、顕著なびり振動発生域では、逆に把持力が大きい場合ほど R_{max} は大きくなっている。

軸方向距離をパラメータとして、工作物把持条件と系の剛性および減衰比の関係を図10に示す。図中実線で示した剛性は、工作物主軸側ほど、また把持力が大きい場合ほど、大きくなっている。これに対し、減衰比は工作物軸方向に対して一定である³⁾。また、減衰比は把持力が大きい場合ほど小さくなっている。この様に把持条件に対して、剛性と減衰比は逆の傾向を示す。このような剛性と減衰特性の相反効果については、筆者らがこれまでも報告している³⁾。以上の結果から、図7および図9で示した変動把持力および切削面の表面あらさの挙動を考察する。すなわち正常切削域では、把持力の小さい場合には、剛性が小さいた

めに把持力および工作物の変動が大きく、表面あらさも大きくなる。これに対して、顕著なびり振動域では、把持力の高い場合には系の剛性は大きい、逆に減衰特性が低いために、一度発生したびり振動は急激に増大するのである。

図11の(a)には、図4で示した静荷重条件における変動把持力と、図7で示した切削中の変動把持力を比較して示す。また、図中(b)には、同様にスクロールチャックについて示す。(a)および(b)共に、静的荷重の場合には点線で示すように、変動把持力は設定把持力の大きい条件ほど小さく、また工作物自由端ほど大きくなっている。これに対し実線で示し

図9 表面あらさの比較

図10 剛性および減衰比と把持力の関係

(a) Power chuck

(b) Scroll chuck

図11 静的および動的荷重下の変動把持力

図12 静的および動的荷重下の変動把持力の比

た動的荷重の場合には、静的荷重の場合と同様の傾向であるが、切削によって発生する変動切削力は工作物の変動が作用することにより増幅されるために、変動値は静的荷重時に比べ大きくなる。

ここで、その増大の状態を定量的に比較するために、図12に静的および動的荷重時の変動把持力の比として示す。パワーチャックの場合には、顕著なびり振動の発生時を除くとその比は、各把持力とも、1に関してはほぼ一定である。これは、パワーチャックの場合には、把持力の復帰機能が常時働いているために把持剛性の変動が一定に保たれるためである。また、把持力15000N/Jawの場合には、顕著なびり振動発生域において、減衰効果の欠除が影響してその値は急増している。その機能がないために点線で示すように、スクロールチャックの場合には、工作物自由端でその比は増大している。

4. む す び

旋盤用チャックの特性改良を目的として、現在までその挙動が明確にされていないパワーチャックの把持特性を実験的に検討した。その結果、次のようなことが明らかになった。

(1) スクロールチャックと同様にパワーチャックにおいても、工作物剛性の周期的な変動に起因して、把持力が周期的に変動する。

(2) パワーチャックの場合には、摩擦機構をもったスクロール方式に比べて、高速回転時の遠心力による把持力の減少が大きくなる。

(3) 静的条件と比較して、動的に力の作用する切削時には把持力の変動が大きい。その増加の割合は、パワーチャックの場合には、把持力の復帰機能のために切削距離に関してほぼ一定である。これに対して、その機能をもたないスクロールチャックの場合には変動の増加は著しい。

(4) パワーチャックの場合には、ゆるみに対する復帰機能のためにスクロール方式に比べて、切削後の把持力の減少が小さい。

(5) びり振動の発生にともない、把持力の変動値は増大する。また、把持力の大きい条件ほど、把持剛性が大きいために、びり振動に対する安定限界は増大する。しかし、この場合には、減衰効果が小さくなるために、一度びり振動が発生すると大きなびり振動となる。

終りに、本研究を行うにあたり協力いただいた卒研究生、伊藤孝浩氏(日本システム開発株)に感謝の意を表します。

文 献

- (1) 土井・ほか2名, 機論, 50-460, C(昭59), 2392.
- (2) 日本工作用機器工業会資料, 工作用機器, (昭63), No.31
- (3) 土井・ほか1名, 機論, 51-468, C(昭60), 2129.