

小径ドリルの折損検出法

機械金属部 小石川勝男 山羽 和夫*

1. 緒 言

最近,NC工作機械やマシニングセンタ等を使用した機械加工において,加工の状態を連続的に監視し,信頼性が高く,かつ,作業能率の良い加工システムが求められている。このようなシステムを実現するための一要素として,ドリル等の工具損傷のインプロセス計測手法を確立する必要性のあることが上げられる。

ドリル損傷のインプロセス計測手法にはこれまで切削抵抗力を検出する方法^{(1)~(3)}AE^{(4),(5)}, モータ電流を検出する方法, ITVによるもの等が発表されている。これらの手法には一長一短があるが,総じて2mm以下の小径ドリルの損傷を検出している文献例は少ない。

一般に,ドリルは小径になるほど,①径に比べて過大な送り量が原因となるドリルの座屈現象の発生,②切り屑の絡みつきのラジアル方向の負荷トルクの増大,③切れ刃の摩耗によるスラスト力の増大,④被削材の不均一性による切削力の変化,等の諸要因が複雑に入り込み加工中,ドリルの切損が生じやすくなる。これらのことから小径ドリルでは加工中に起きる折損を予知することや,折損時を知ることが非常に困難である。

本論文では,直流モータをチョッパ制御で駆動する際に任意の容量の直流リアクトコイルをモータ回路に直列に挿入することによって直流モータを定電流で駆動可能となることに着目したモータ電流による小径ドリルの新しい欠損検出方法についての検討を試みた。

2. 模擬回路による直流リアクトコイルを決定するための基礎実験

ここでは簡単のため,1.44Wの直流小型モータを使用し,これを定電流駆動するためのチョッパ式モータ駆動模擬回路の基本的な考察を行った。

チョッパ方式にはサイリスタを使用するのが一般的であるが定電圧駆動の直流モータを使用する場合にはスイッチ速度がサイリスタに比べてひと桁以上速いトランジスタを用いるのが望ましい。

図1に試作した模擬回路を示す。図1のInputにパルス入力を加えることによりパルストランスPTを介してスイッチングトランジスタTr (2SC495Y)がON-OFFし,そのトランジスタの誘導員荷になっている小型直流モータMが起動される。モータMに直列に 0.1Ω のモータ電流検出用抵抗RとトランジスタTrのON時,OFF時のトランジェント時の定電流駆動用として直流リアクコイルLを挿入している。また,ダイオードD2はエネルギー回生用ダイオードである。

図1においてトランジスタ2SC495Yのコレクターエミッタ間電圧 V_{EC} は他のモータ,直流リアクトコイル等での電圧降下分と比べて小さいので $V_{ce} \approx 0$ と仮定すると誘導負荷の e両端の電圧 e_L と負荷電流*i*の間には直流リアクトコイルの値を L として

$$e_L = L \times (di / dt) \quad \dots\dots\dots(1)$$

が成立する。与条件より $V_{ce} \approx 0$ であるから。式(1)の e_L は $e_L \approx 12V$ となる。したがって式

$$2fL \approx 12 / \Delta I \quad \dots\dots\dots(2)$$

のように書くことができる。式(2)において ΔI は,電流変動分を表し, f はチョッピング周数数を表わす。ここで ΔI を $\Delta I = 10mA$ におさえ,かつ, f が $f = 1kHz$ で用いると仮定すると

$$L \approx 0.6 [H] \quad \dots\dots\dots(3)$$

が決定できる。

図2にモータ電流の予想概略波形を示す。図2においてトランジスタ Tr のベースエミッタ間電圧 V_{BE} に対するモータ伝電流の波形は $L = 0$

$[H]$ の場合には図2(a)に示すようなリップル波形を呈するものと考えられる。式(3)に従って L を $L = 0.5 \sim 1.0 [H]$ にすると図2(b)に示すように図2 (a)のリップルはほとんどなくなりモータを定電流駆動ができるようになることが予測できよう。

図1の回路を使用した基礎実験では入力パルスのデューティ比(周期的パルス列の任意のパルスのパルス幅とパルスの繰り返し周期の比)をパルストランスPTの伝送特性を考慮して37.5%一定とし L の値を0 $[mH]$,0.75 $[mH]$,500 $[mH]$,1 $[H]$, 3 $[H]$ と変えた。この結果,式(3)で予測したように0 $[mH]$ および0.75 $[mH]$ 以外ではすべて図2 (b)に示すような直流モータが定電流駆動されている特性がえられた。

直流モータの負荷電流を加工情報として用いる場合,図2 (b)に示すような定電流をモータに流したほうがモータのトルク特性からいって好ましい。元来,チョッパ回路は省エネルギーを目的として構成されており,このため,スイッチングトランジスタには電流増幅率 h_{FE} が大きなものを使用され,ベース電流も通常より数倍も多い電流を流すことでトランジスタを完全飽和状態で使用している。

したがって, この場合の直流モータの負荷トルク特性は $T = k \cdot I_a \cdot I_f$ (k :係数, I_f :フィールド電流)となり,図2 (b)で示したモータ電流は負荷トルクのみに依存して変動することになる。

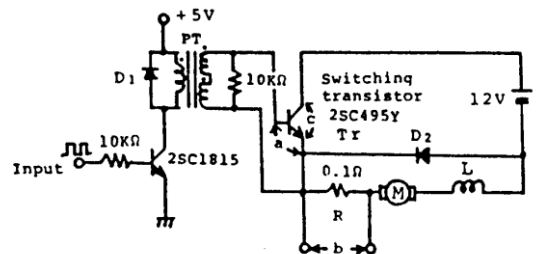


図1 直流リアクトコイル L を決定するための回路

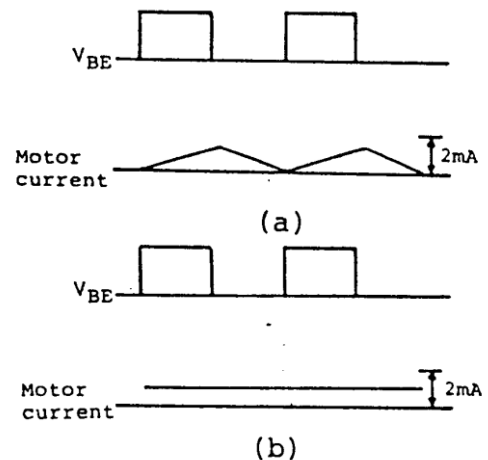


図2 モータ電流波形予想図

前章で行った基礎実験をもとに2mm以下の高速度鋼ドリルにまとを絞りこれらドリルの折損検出装置を試作した。

図3に試作した折損検出装置のブロック図を示す。

図4にその電気回路の外観写真を示す。

図3に示すように本折損検出装置はマイクロコンピュータ部(NEC:PC9801VM-2),マイクロコンピュータ部からの駆動命令信号であるアナログ電圧に応じてデューティ比が変えられるPWM発生部,図1とほぼ等価のチョッパ回路で構成されるモータ駆動部,直流モータMの負荷トルク信号を処理するための信号処理部,モータの速度を検知するエンコーダ部からなっている。

今回使用した直流モータにはドリルで穴あけ加工が可能な出力トルクを有する三菱電気(株)製PSシリーズ, PS-4025B₂(電圧:12V,定格出力: 250W,回転速度: 1750min⁻¹)を選定した。

直流モータに直列に挿入されている直流リアクトコイルLには外径,内径,高さがそれぞれ100mm,60mm,200mm,の鉄心〔東北金属(株)製,N-410標準品〕に/ユ.5の銅線を内径の空間がなくなるまで巻き,これを4個直列に接続した

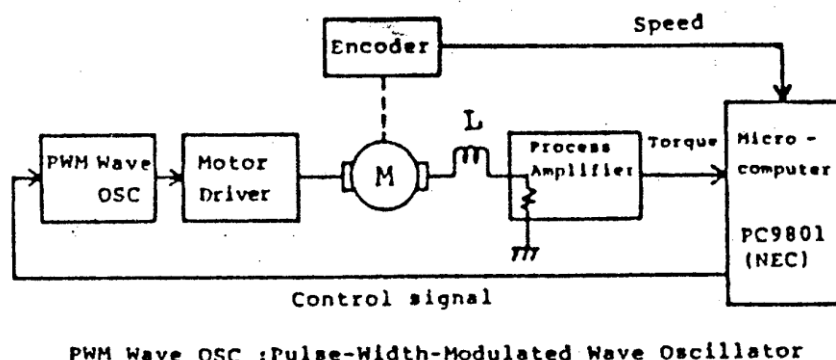


図3 折損検出装置のブロックダイヤグラム

ものを試作して用いた。このコイルのインダクタンスは実測の結果 $L \approx 0.1$ [H] となった。このL値は式山～(2)で換算される値より小さい。もし, L値を大きくすれば,コイル径もさらに大きくなり,装置自体も相対的に大きくなってしまふ。したがって,ここでは試作した直流リアクトコイルLをそのまま使用し,残留リップル分は信号処理部内に簡単なノイズフィルタを設けることでモータ電流値として取り出した。

図5に直流リアクトコイルLがない場合および $L \neq 0.1$ [H] のコイルを挿入した場合の電流検出用抵抗($R=0.01$)の両端の出力電圧波形(ここではこれをモータの電流波形とみなした)を示す。図5から直流リアクトコイルLを挿入したことによってモータ電流が定電流に近づいていることが理解できる。

図6に試作した本折損検出装置の加工中の外観写真を示す。

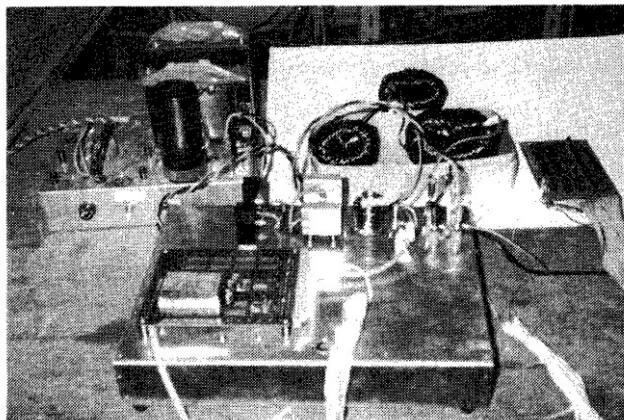


図4 試作したモータ駆動回路

図に示すようにドリルのチャック部をモータの駆動軸に直結し、かつ、送り速度を一定に保つために横フライス盤のテーブル上にモータ部を設置した。被削材は横フライス盤の主軸の前壁にM10のボルトによって固定させた。

図7にPWM発生部で入力パルス波形のデューティ比を100%からモータの回転の可能な50%から10%ステップで変化させた場合のモータの負荷電流－負荷トルク特性を示す。

図8に本装置を利用してS45Cの被削材を $\phi 3.2$ のドリルで穴あけ加工させたときのモータの負荷電流－回転速度の特性を示す。図8から同じデューティ比では送り速度を上げると負荷電流が増加することがわかる。また、同じ送り速度では、入力パルスのデューティ比が小さくなるほど回転速度が下がる傾向がある。実験では、送り速度100mm/minでデューティ比が70%のところではモータに加わる負荷トルクが増大し、回転が停止した。本研究ではデューティ比は90%に固定させた。さらに、SUS304の被削材においても図8と同様の傾向にあることが確認された。

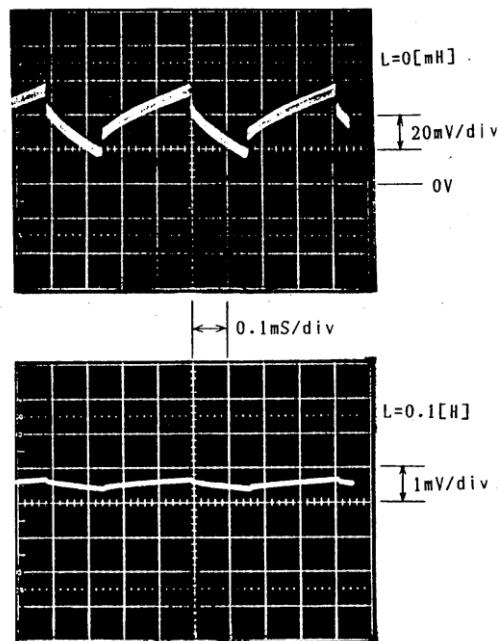


図5 直流リアクトルコイルLのモータ電流への影響

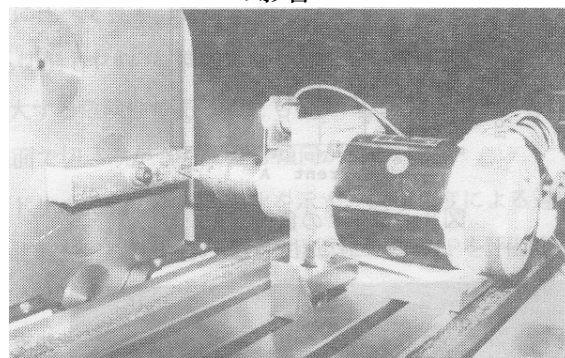


図6 加工中の外観図

4. 実験結果及び考察

本研究では被削材として、アルミ合金(JIS記号:A1080P, ブルネイ硬さ:HB60),黄銅(C2600P, HB126),炭素鋼(S45C, HB159)およびステンレス鋼(SUS304, HB156)の4種類の試料を準備し、 $\phi 2$, $\phi 1.5$, $\phi 1$ の3種類の小径ドリルによる穴あけ加工実験を行った。本論文では以下被削材の表記にJIS記号を用いる。

図9に $\phi 1.5$ のドリルを用いて繰返し穴あけ加工を行ったときの穴あけ数と負荷電流の関係を示す。実験では穴あけ深さを6mmとし、切削油を使用せず乾式によってS45C, C2600P, SUS304の3種類の穴あけ加工におこなった。折損はS45Cでは送り速度 $f=100\text{mm/min}$ で穴あけ数8個め、同じS45Cで $f=50\text{mm/min}$ になると30個目、また、C2600Pでは穴あけ数101個目、さらに、SUS304で穴あけ数13個目に発生した。

図9から各被削材とも折損直前に負荷トルクが増大していることがわかる。また,送り速度が速くなると負荷電流も増大し,折損も早くなる。C 2600 Pのような柔らかい材料では穴あけ数が多くなっても負荷電流はあまり増大せず折損直前になって急に負荷電流が増す傾向のあることがわかった。これは柔らかい材質の場合,切り粉かドリルの溝等に粘り着いて急に大きな負荷トルクがドリルにかかり折損したと考えられよう。

図10に折損したドリルのX線アナライザによる断面を示す。図10左にA1080P材,図10右にS45C材をそれぞれ加工したときのドリルの破断面を示した。この写真からA1080P材ではドリルに切り粉がつきこれが大きな負荷トルクとなって折損を引起こした可能性が高いことが実証できよう。

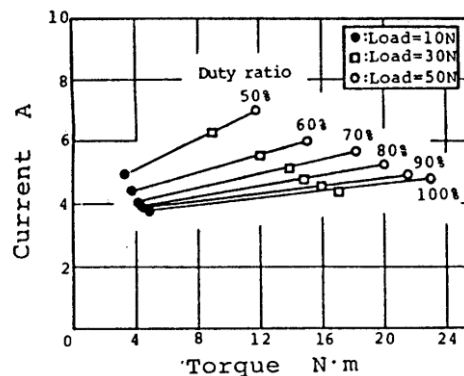


図7 デューティ比を変えたときの電流 - トルク特性

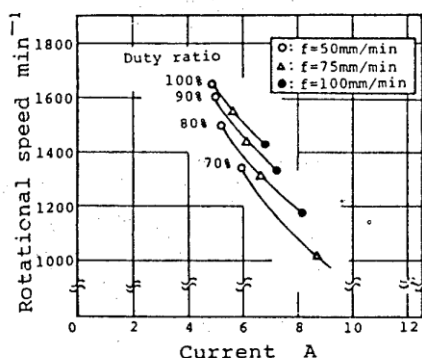


図8 モータの負荷電流一回転速度特性

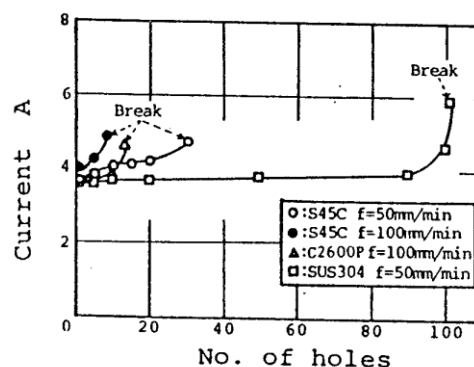


図9 繰返し穴あけ加工実験

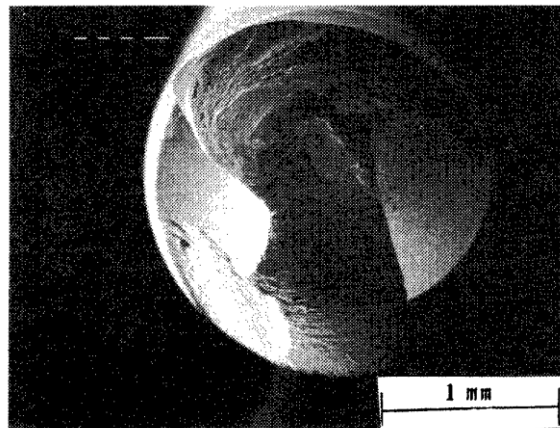
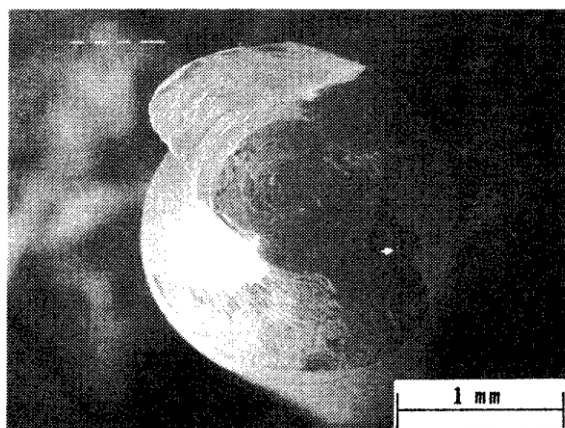


図10 X線アナライザによるドリル破面の外観写真

図11に各被削材の同一加工条件(送り速度 $f = 100\text{mm/min}$, 使用ドリル径/1.5)での負荷トルク特性を示す。図11の S45C図において波形の立上がり部分(1)が折削開始を示し, 平坦部(2)では切り粉粉がスムーズに出ている状態を示す。さらに, トルク特性が上昇する部分(8)ではドリルに溝に切り粉がつまり負荷が上昇していることを示す。ピーク点④でドリルが折損しそれ以後負荷が急激に零に落ちている。

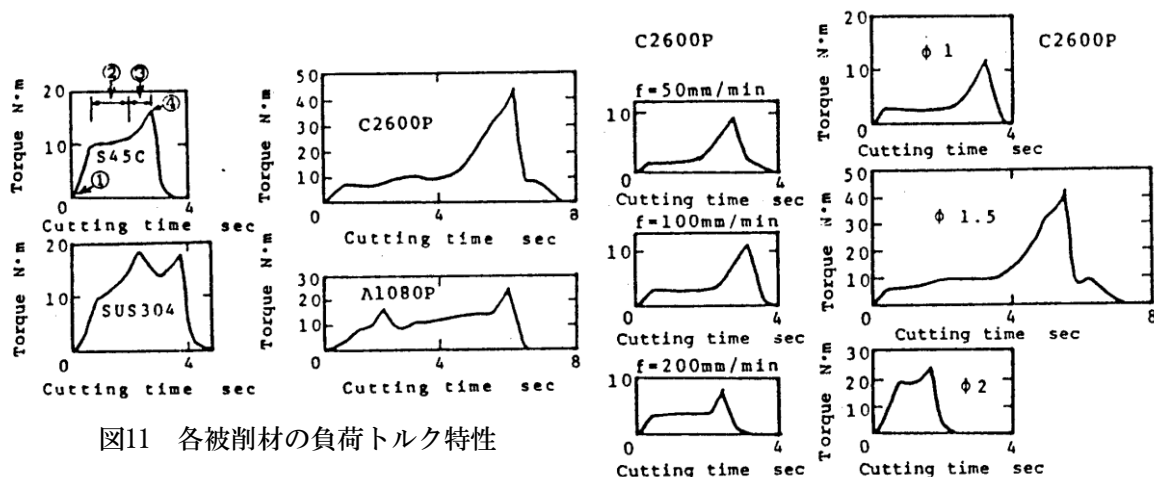


図11 各被削材の負荷トルク特性

図12 送り速度を変えたときのトルク特性

図13 ドリル径を変えたときのトルク特性

図11においてSUS304とA1080Pでは切り粉がつまって押し出された後さらに切込みが進んでいる状態がわかる。特に, A1080Pでは今回実験したすべての切削条件でこの傾向が顕著に認められた。C 2600Pでは切削開始後の平坦部か他の被削材に比べて長く, 負荷トルクも小さい。このことからC2600Pは準備した4種類の被削材の中では最も切削しやすい材料であると言えるが溝詰まりがいったん始まった場合には負荷トルクが他と比べて増大する危険性のあることもわかった。

SUS304, C2600Pでは折損した後も折損破面で切込みがさらに進む傾向がある。

図12に送り速度を変えた場合のトルク特性(ドリル径: $\phi 1$)の変化を示す。送り速度による違いを評価するために上述の4種類の被削材の中で最も安定した切込み状態を示したC2600Pを評価試料に選定した。この図より送り速度 $f=50\text{mm/min}$ では負荷トルクも小さいことがわかる。送り速度を上昇させ $f=200\text{mm/min}$ にすると視感的には実験中, 座屈によってドリルが折損したように見えたが本検出装置においては座屈に関する顕著な傾向は認められなかった。

図13にドリル径を変化させた場合(送り速度: $f=100\text{mm/min}$)のC 2600 Pの負荷トルクへの影響について示す。ドリル径 $\phi 1$ と比較して/1.5では加工する穴が深くなるため切り粉がドリルに絡んでモータの回転が遅くなるとともに折損力も大きくなる傾向にあることがわかった。さらに径が $\phi 2$ と太くなりこれが折損時寸前になると他の小径ドリルと比べて負荷トルクが大きくなるため, その分回転速度も落ちる(エンコーダで確認した)傾向が認められた。

5. 結 言

本研究では、代表的な4種類の被削材における $\phi 2$ 以下の小径ドリルの折損時の検出、および、それらの切削時のトルク特性を従来のモータ電流によるトルク検出方法とは異なる電流検出手法を用いることによって解明できる方法について提案できた。

今後は本システムの特徴を生かし、デューティ比を変え、モータの速度を制御することで小径ドリルの折損予測を行うシステムを完成する予定でいる。(機械学会第65期通常総会講演会において講演)

参考文献

- 1) 檜村: ドリル損耗検出に関する研究, 精密機械, 50- 6 (昭59), 939
- 2) 畑村ら: 小径ドリル用工具ホルダー形FM式トルク・スラスト温度センサーの開発昭和59年度
精密機械学会春期大会学術講演会論文集(昭59), 87
- 3) 大久保ら: 微小径ドリルの折損原因の究明と折損予知に関する研究, 機論, 51-471, C (昭60), 2929
- 4) 大宮ら: アコースティックエミッションによるドリル折損のインプロセス検出機論, 51-472, C (昭60), 3322
- 5) 小島ら: アコースティックエミッションを利用したドリル折損の予知, 機論, 51-467, C (昭60), 1838
- 6) 関口ら: 切削異常検出装置の開発, 高精度, 9-1, C (昭54), 65
- 7) 菅野ら: ITV利用によるドリル刃先摩耗の自動測定, 機論, 44-385 (昭53), 3260