

超音波と低周波の複合振動を利用したコルクシートの打抜き加工

—打抜き加工荷重について—

濱本 和敏 (日大生物資源)

Abstract : The purpose of this study is to improve the performance (efficiency and accuracy) of cylindrical knife cutting tool-based cork sheet punching by utilizing the energy of low-frequency and ultrasonic vibrations. Double-vibration sheet punching experiments were conducted in which an ultrasonic vibration and a low-frequency vibration were added simultaneously (in the punching direction) to a knife cutting tool and a cork sheet work piece, respectively, and analyses were made based on the punching loads measured.

The average measured punching load and punching work values for the double-vibration sheet punching method were lower, without exception, than those for the conventional (i.e. non-vibration) sheet punching method. The analysis results also show that the punching load and punching work reduction effect is larger (i.e. punching performance is higher) when both the low-frequency and ultrasonic vibrations are added than when only one of the 2 types of vibration is added.

Key word : ultrasonic vibration, low-frequency vibration, punching load, punching work

要旨 : 本研究では、円筒形ナイフ刃工具を使用して、加工材料であるコルクシートの打抜き加工に低周波と超音波の振動エネルギーを利用することにより、その加工性能（能率、精度）の向上をはかることを目的としている。実験では、ナイフ刃工具側に超音波振動を、加工材側に低周波振動を、打抜き方向と同一方向に同時に付加させた複合振動打抜き加工を行い、この時の打抜き荷重に着目して検討を行った。

その結果、複合振動打抜き加工での平均打抜き荷重および平均打抜き仕事量は、これまでの慣用（無振動）打抜き加工のそれらに比較して常に小さく、この低減効果は低周波振動あるいは超音波振動のいずれかの単一振動を付加させた場合に得られる効果よりも、一層大きい複合効果が発揮され、加工性能の改善が認められた。

キーワード : 超音波振動, 低周波振動, 打抜き荷重, 打抜き仕事量

I はじめに

既報(1)では、これまでの慣用（無振動）打抜きせん断加工の加工性能を向上させる一つの試みとして、低周波振動エネルギーを利用したナイフ刃状工具によるファイバーボードの振動打抜きせん断加工について検討した。その結果、低周波振動の付加により打抜き加工時の加工荷重および加工仕事量の軽減効果が認められるなどの二、三の知見を得ることができた。

そこで、本研究では引き続き、この振動打抜きせん断加工をさらに展開する目的から、既報の低周波振動にさらに超音波振動を複合させた打抜き方法を考案し、コルクシートの打抜き加工実験を行った。実験では、円筒形ナイフ刃工具側に超音波振動を、加工材側に低周波振動をそれぞれ加工方向と同一（縦）方向に同時に付加させ、打抜き加工時の打抜き荷重に注目して測定し、無振動打

抜き加工のそれと比較検討した。

II 実験方法

1. 実験装置 供試した実験装置は、本体が既報(1)で使用したものと同一のもので、容量5トンの油圧式からなる加圧装置と偏心カム方式による低周波振動加振装置に超音波振動装置（発生装置、振動子）を加えたものから構成されている。すなわち、図-1に示す低周波振動加振装置部分の概略図において、下部に内蔵した駆動モータで、一對の偏心カム①を回転させることにより、荷重測定用の切削動力計上の加工材②を取り付けた振動加圧板③を上下方向（打抜き方向と同一方向）に低周波振動させる。これに対し、上部から超音波振動子④の先端に固定した円筒形ナイフ刃⑤を超音波振動させながら一定速度で圧入し、加工材のコルクシートを複合

Kazutoshi HAMAMOTO (Coll. of Bioresource Sci., Nihon Univ., Kanagawa 252-8510)

Cork sheet punching with combination of ultrasonic and low-frequency vibrations -punching load-

振動打抜き加工をする方法である。従って、本研究で対象とする複合振動打抜き加工では、工具側に超音波振動を、加工材側に低周波振動を同時に付加させる方法である。なお、打抜き加工時には、加工材であるコルクシートの両端を押さえ治具により拘束している。

2. 供試円筒形ナイフ刃工具および加工材料 実験に供試した円筒形ナイフ刃工具の形状寸法を図-2に示す。ナイフ刃(材質 SUS)の形状は、円筒形でナイフ刃先端が片刃で図-2に示すように、刃厚1mmの内刃と外刃の2種類を採用した。ナイフ刃の外径は、10mmでナイフ刃角は 20° 一定である。この円筒形ナイフ刃工具は、径8mmのボルトにより振動子に固定して使用する。実験では、ナイフ刃先端の摩耗による加工性能への影響を少なくするため、内刃と外刃の両ナイフ刃をそれぞれ3組供試した。

供試加工材料には、近年その利用が多いコルクを選び、市販の表面がアクリル加工された厚さ4mmのコルクシート板(平均密度 0.42 g/cm^3 、平均含水率6.0%)から一定の裁断法により、長さ100mm、幅65mmの寸法の加工材を採取した。なお、実験ではナイフ刃先保護のため、加工材の下部に厚さ10mmの軟質プラスチック板を下敷きとして使用した。

3. 実験条件および測定方法 打抜き加工実験では、上記の複合振動打抜き加工装置、円筒形ナイフ刃工具および加工材を用いて、低周波振動〔振動数(f)0~19.7Hz、全振幅($2a$)1.8mm一定〕と超音波振動〔振動数(f)29.5KHz一定、全振幅($2a$)0~15.5 μm (無負荷)]を変化させ、ナイフ刃の圧入速度〔(v)打抜き加工速度]64mm/min一定で、複合振動打抜き加工実験を行い、この時の打抜き加工荷重および打抜き加工仕事量をそれぞれ測定した。

打抜き荷重の測定は、加工材の下部に設置した容量980N(100kgf)の荷重測定用切削動力計(AST型)により、動ひずみ計を介して検出し、ペンレコーダから得られる打抜き荷重波形の最大高さを測定値とした。ただ、ここで得られる打抜き加工荷重の測定値は既報(1)でも指摘したように、本研究の対象である同一(縦)方向振動切削加工法特有の一周期一回毎の規則的なパルス状の瞬間最大打抜き荷重の測定は、測定機器の限界から測定できないので、丁度、瞬間最大打抜き荷重の平均的な打抜き加工荷重値(L_{mean})を検出していることになる。

また、平均打抜き仕事量(S_{mean})の測定は、既報(1)と同様に簡易法としてペンレコーダから得られる打抜き加工荷重-時間線図の波形面積をプランメータにより測定した。なお、平均打抜き加工仕事量については、

比較のため複合振動打抜き加工仕事量を無振動打抜き加工のそれとの比(K)で表示した。

III 実験結果および考察

1. 平均打抜き荷重(L_{mean}) 平均打抜き荷重の測定結果をそれぞれ図-3および図-4に示す。

図-3は、超音波振動の全振幅($2a$)をパラメータとした時の低周波振動の振動数(f)と平均打抜き荷重(L_{mean})との関係である。 L_{mean} は、内刃(上図)、外刃(下図)の両ナイフ刃とも $f=0$ の○印の無振動打抜きよりも小さく、しかも f の増加に伴って約 $f=10\text{Hz}$ までは急に減少するが、それ以上からは超音波振動のいずれの $2a$ とも減少率が少なくなっている。また、図から、黒丸印の点線の単一低周波振動の付加に対し、超音波振動がさらに付加されることにより、複合効果がより発揮され、しかも $2a$ の値が大きくなるほど打抜き荷重の減少が一層大きくなっていることが分かる。この場合においても、やはり、 $f=10\text{Hz}$ 以上からの打抜き荷重の減少率が少ない。

次に、図-3の低周波振動の f が平均打抜き荷重に及ぼす影響に対し、超音波振動の $2a$ が L_{mean} に及ぼす影響について見ると、図-4は前図とは逆に低周波振動の f をパラメータとした時の超音波振動の $2a$ と L_{mean} との関係である。単一超音波振動における L_{mean} は、内刃と外刃の両ナイフ刃とも $2a=0$ の無振動打抜きから $2a$ の増加とともに減少傾向が見られる。ただ、この場合単一低周波振動打抜き荷重の減少効果よりも少ない。これに対し、低周波振動を複合させた場合には、複合効果による打抜き荷重の減少割合は一層大きくなるが、 f が大きくなる程 $2a$ の影響は少なく減少率も少なくなる傾向を示している。

また、図-3および図-4の両図から内刃(上図)と外刃(下図)の両ナイフ刃と平均打抜き荷重との差異を見ると、単一低周波振動の付加(図-3)では、内刃が外刃より多少小さい荷重を示している。これに対し、単一超音波振動の付加(図-4)では、図-3の結果と異なり内刃が外刃のより若干大きい打抜き荷重値を示す。そして、低周波と超音波の両振動の複合(図-3、図-4)では、内刃が外刃より小さい打抜き荷重値を示し、本実験内においては両ナイフ刃の間には、明確な差異が観察されない。

以上、振動条件と平均打抜き荷重との関係を述べてきたが、これまでの測定結果からも明らかのように、低周波と超音波の複合振動打抜きを行うことにより、打抜き荷重の低減効果がより顕著に認められる。例えば、超音波振動の $2a=15.5\mu\text{m}$ 、低周波振動の $f=15.7\text{Hz}$ の

条件下では、従来の無振動打抜き荷重に比べて最大90%前後の減少が見られるなど、打抜き加工性能の著しい改善が認められる。また、研究結果を総合すると、内刃と外刃の両ナイフ刃とも複合振動打抜き加工をより効果的に行うには、低周波振動については f を10Hz前後にとどめ、超音波振動の $2a$ をある程度大きくする必要がありと考えられる。

2. 平均打抜き仕事量比 (K) これまでの打抜き荷重の測定結果に対し、打抜きせん断エネルギーに相当する打抜き仕事量の測定結果について述べる。内刃(上図)、外刃(下図)の両ナイフ刃での低周波振動の振動数(f)変化と複合振動での平均打抜き仕事量を無振動打抜きのそれとの比(K)との関係を図-5に示す。

打抜き仕事量比 K は、内刃、外刃の両ナイフ刃とも前項で記述した低周波振動の振動数(f)と平均打抜き荷重(L_{mean})との関係と類似の傾向を示しており、 K は f の増加とともに減少するが、 f が一定以上からの減少率が少ないか、あるいはほぼ一定値を示している。

図-6は前図同様、両ナイフ刃における超音波振動の全振幅($2a$)と平均打抜き仕事量比(K)との関係である。 K は前図の結果と同じく、いずれの振動条件下においても $K=1$ (無振動) よりも小さく、しかも $2a$ の増加につれて減少している。 K は、振動条件によっては無振動打抜きの仕事量の10~20%程度に過ぎず、荷重負荷が著しく小さい。内刃と外刃の両ナイフ刃での K の違いは、前項の両ナイフ刃と平均打抜き荷重との関係の結果と同じく、やはり両ナイフ刃の間には明確な差異は認められない。

以上の測定結果を総括すると、低周波と超音波のそれぞれの単一振動を付加した時は勿論のこと、両振動の複合打抜きでは一層の複合効果により、加工時の平均打抜き荷重および平均打抜き仕事量が無振動打抜きのそれよりも小さく、加工性能の著しい改善が見られる。

このように、複合振動効果が得られる要因としては、本研究が対象とした打抜き方向と複合振動方向が同一(縦)方向の加工法では、第一の特徴(2, 3)である断続切削効果がまず一つの要因として挙げることができる。すなわち、この効果が発揮されるには、打抜き加工速度(v)がナイフ刃先の最大振動速度($2\pi af$)よりも大きいことが必要条件であるが、この $v < 2\pi af$ の条件が本研究の加工条件下では充分満たされている。次に、二つめの要因としては、この加工法の第二の特徴(3)である、ナイフ刃の刃先が一回の打抜きで加工材に切込む長さは $lt=v/f$ で示されるように、 lt は極めて微小となる。

このように、複合振動打抜き加工では、一周一回毎のナイフ刃先の切込み量が極めて小さく、しかも一周期の大部分の時間がナイフ刃先と加工先端が遊離現象を伴う断続切削であるため、この規則的な微小断続切削の効果が、打抜きの加工の際にも十分発揮された結果と考察される。これらの要因以外にも、複合振動による打抜き加工中のナイフ刃工具と加工材の間に発生する摩擦の減少効果(3)も打抜き加工性能を向上させる一因と考えられる。

IV まとめ

本研究では、円筒形ナイフ刃によるコルクシートの打抜き加工に関して、工具側に超音波振動を、加工材側に低周波振動を、加工方向と同一方向に同時に付加させた複合振動打抜き加工実験を行い、次の結果を得た。

- 1) 平均打抜き荷重は、無振動打抜きのそれに比べて単一超音波振動打抜き、単一低周波振動打抜き、そして複合振動打抜きの順に減少率が大きくなる。
- 2) 複合振動打抜きの平均打抜き荷重の低減効果は、低周波振動の振動数および超音波振動の全振幅が増加するにつれて大きくなるが、一定以上からは振動効果が少なくなる。
- 3) 複合振動打抜きでの平均打抜き仕事量は、打抜き荷重とほぼ類似した結果を示し、やはり仕事量の軽減効果が顕著に認められる。
- 4) 平均打抜き荷重および平均打抜き仕事量とナイフ刃の形状との関係では、本実験においては内刃と外刃の両者の間に明確な差異は認められない。

引用文献

- (1) 濱本和敏(1983) 木材および木質材料の振動せん断加工に関する研究. 日大農獣医学部学術研究報告 40:95~106.
- (2) 加藤幸一(1978) 振動切削による木材の切削加工(1). 木材工業 33(9):370~375.
- (3) 隈部淳一郎(1979) 振動打抜き加工. (精密加工振動切削, 401pp., 実教出版, 東京) 375~381

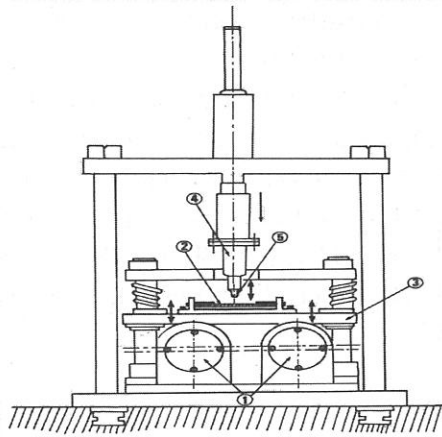


図-1. 実験装置の概略図

- ①偏心カム, ②加工材, ③加圧板, ④超音波振動子,
- ⑤円筒形ナイフ刃

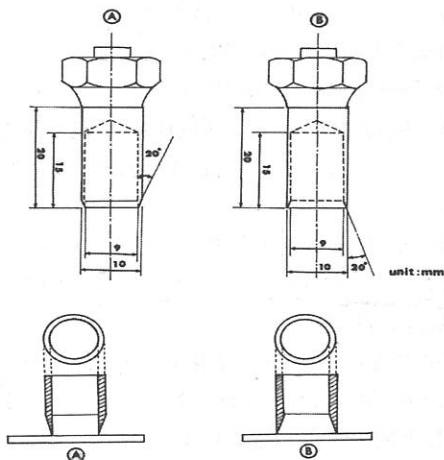


図-2. 円筒形ナイフ刃の形状寸法

①内刃, ②外刃

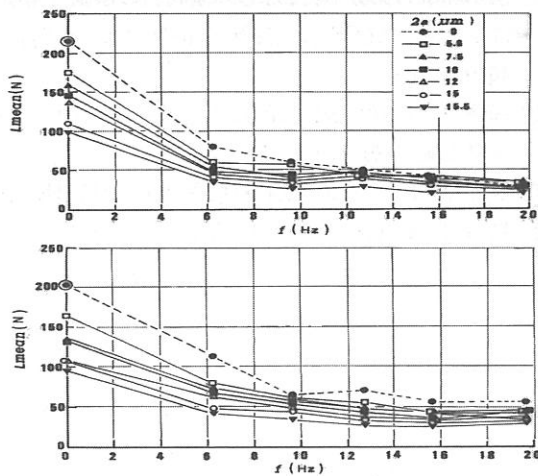


図-3. 低周波振動の振動数(f)と平均打抜き荷重(L_{mean})の関係
内刃(上図), 外刃(下図)

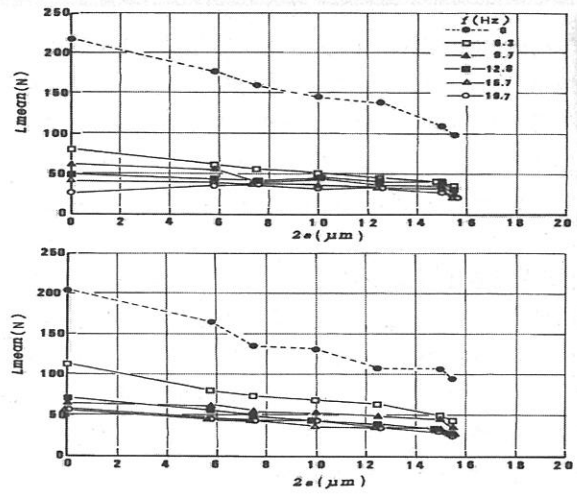


図-4. 超音波振動の全振幅($2a$)と平均打抜き荷重(L_{mean})の関係
内刃(上図), 外刃(下図)

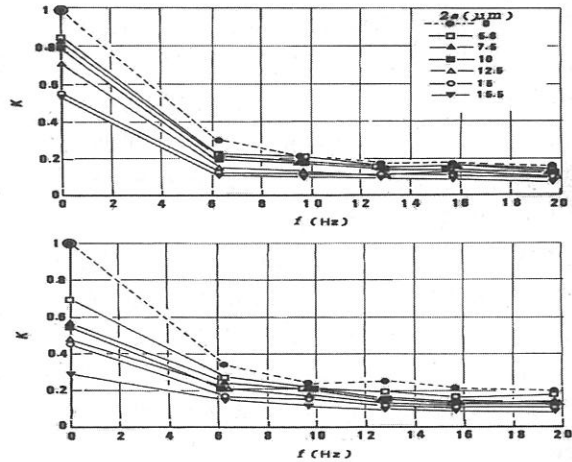


図-5. 低周波振動の振動数(f)と打抜き仕事量比(k)の関係
内刃(上図), 外刃(下図)

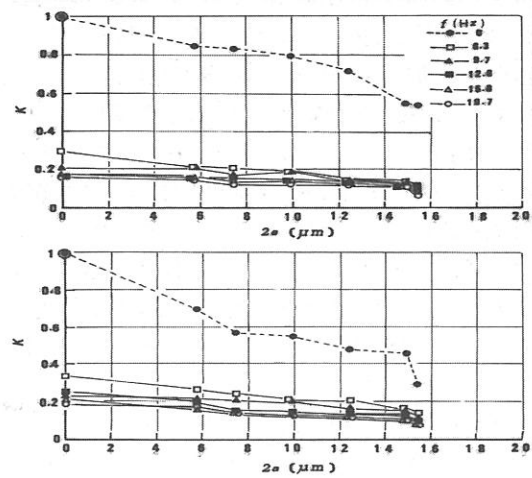


図-6. 超音波振動の全振幅($2a$)と打抜き仕事量比(k)の関係
内刃(上図), 外刃(下図)