フェノールレジジン積層板のせん断加工

—— 第1報 丸形せん断加工について ——

北 条 英 典* 木 下 健 次*

Shearing of Paper Phenolic Laminates

Hidetsune Hōjō, Kenji KINOSHITA

Paper phenolic laminates (P4A, P3B, P5) are blanked and pierced by circular punch and die of 32, 6, 3, and 1.5mm in diameters. In this experiment, shearing and stripping resistance, punch stroke are recorded by an inkwriting oscillograph, and dimensions of sheared edge, depth of surface crack and bulged height around the pierced hole are measured by a projector, and finally diameters of the sheared blanks and pierced holes are measured by a comparator. As the sheared conditions, seven factors, i.e. clearance between punch and die, heat temperature, heat time, clearance between punch and stripper plate hole, punch and die size, material, punching interval are chosen. Consequently it is summarized that the clearance (punch and die), heat temperature and hole size have the greatest influence upon the measured items and effect of the other four factors are little. Provided that the clearance is smaller, above two resistances are higher, but good edge is obtained and the blank size approaches to the die size. Elevating the heat temperature, resistances are reduced but shrinkages of the hole and blank are increased. When hole size is small, especially smaller than five times of thickness of material, bulging around the hole and stripping resistance are increased rapidly but shearing resistance is reduced.

1. 緒 言

フェノールレジジン積層板は周知の様に通信機器用絶縁材料として大量に使用されているが、その多くはせん断加工品である。しかし金属と異り、せん断が困難なため一般に加熱した状態で加工されている。また材料の品質が多様でそれに応じて物理的、機械的性質も非常に異なることなどのため、せん断面が適切で寸法の揃った高精度な製品を得るのはかなり困難であり、経験的に加工されているのが現状である。該材料のせん断加工に関する文献¹⁾もかなり見受けられるが、材質・加工条件との関連に於いて論じたものは見当らず、内容も矛盾する事例が多い。筆者の一人は、先に特別に調製した材料につき、直線刃による切落実験を行って、加熱条件とクリアランス、樹脂量、基材の種類、樹脂初期反応温度等のせん断抵抗、せん断切口面長さに及ぼす効果について報告した²⁾。今回は、市販の材料につき、せん断現象を総合的に把握する目的で、丸形ポンチを使用する打抜きと穴抜きを行なった結果を報告する。

2. 実験装置

加熱条件を変えて加熱された帯状の材料を、電気炉から取出すと直ちに連続3箇の試料をパワープレスで打抜き、せん断力・引抜き力(註1)・ポンチストロークを、抵抗線歪計を使用してペン書き オシログラフで記録した。次に打抜かれた試料のせん断切口部分の寸法 および外径と穴径を、光切断法による断面の投影写真と工具顕微鏡等を併用して測定した。

2.1 実験用型

寸法効果が見出せる様に、ダイス直径 32mm 用と 6 mm 以下の小穴抜用の2種類を準備した。図1に示す様なせん断力・引抜き力検出部を組込んだ固定ストリッパ抜落し型である。いずれもポンチを交換してダイスとポンチ間のクリアランスを変えたが、小穴抜用型は直径に応じてダイス、ポンチ共に交換し、更にストリッパ用円板を交換してポンチとストリッパ間のクリアランスをも変

(註1) 剪断すると材料がポンチに固着するため、材料からポンチを抜き取るのに 相当大きい力が必要となる。この力を引抜き力と呼ぶことにする。

* 電気通信研究所 正会員

え得る構造とした。ただしストリップ穴径は、ダイス穴直径と等しいもの、0.5および2mm 大きいものの3種を用意し、これらを便宜上ポンチとの片側クリアランスが0, 0.25及び1mm のものとした。これらの値は図1に示す。ポンチ・ダイスは炭素鋼を焼入研磨し硬度はHrc 50 以上である。

図1 実験用抜型

2.2 セン断力・引抜き力検出部

32mm 用抜型では、図1a の様にポンチを周縁でネジ止めされたせん断力検出用円板の中央に固定する。円板に抵抗線歪計を上下面互に直角方向の4箇所に接着してブリッジを形成させ、歪計の温度補償と同時にポンチに加わる偏心荷重による曲げモーメントの影響を相殺させて、出力の直線性を向上させる。引抜き力は、円板状ストリップをそのまま検出部としたもので、せん断力検出部と同様である。小穴抜用型(図1b)では、せん断力検出部に球で片面を受けた薄肉円筒を使用し、ポンチホルダの底面を接触させる。引抜き検出部は32mm 用型の場

合同様である。

2.3 ポンチストローク検出部

材料の厚さが1.6mm でかなり厚いから、ポンチとプレス機械ラム下のストロークの差異は無視できると考えられるので、ポンチストロークの代りにラム下端のストロークを検出した。検出部は片持梁に抵抗線歪計を接着したもので、梁に初圧を加えて加工中のチャターを防止する様にした(図1a 参照)。

2.4 プレス

容量15トンのC形フレーム歯車掛クランクプレスでストロークは9.5mm, 行程数毎分66.5である。

2.5 セン断力・引抜き力・ポンチストロークの測定装置

検出部に接着した抵抗線歪計で構成したブリッジに5kc/s の交流電圧を加え、増幅後検波して4素子ペン書きオシログラフに導き、せん断力・引抜き力・ポンチストロークを同時に記録した。此のペン書きオシログラフの入力対出力比の周波数特性は、直流より35c/s まで平坦で、減衰比10%点で40~45c/s である。またペンモータの制動特性は、単位関数波形の電圧を印加した場合の記録例図2に見られる様に、ほぼ妥当である。これに対し

図2

て被測定せん断力の最高荷重点に達するまでの時間は、電磁オシログラフによる記録結果²⁾ から $1/30 \sim 1/27$ 秒である。従つてせん断力ポンチストローク線図の最高荷重点に達するまでの波形を、その基本正弦波の $1/4$ 周期が $1/30$ 秒であるとすれば、本実験に使用したペン書きオシログラフの特性からして、4~5次程度の高調波まで含めて記録できるはずであり、せん断力の測定に使用しても大きな誤差はないと推定できる。また引抜き力・ポンチストロークは、せん断力に比べて現象がおそいから問題はない。

次に被測定力が検出部の抵抗線歪計によつて忠実に電圧に変換されるためには、検出部の固有振動数が被測定現象周波数の10倍程度以上あることが望ましい³⁾。検出部にポンチや附属部品の質量が固定されると、検出系全体の固有振動数 f が著しく低下するおそれがある。 f を実測するため、ブラウン管オシログラフのX軸に既知

の周波数の入力を入れ、Y軸に検出部からの自由振動入力を入れてリサージュ図形を画かせる方法をとつた。しかし装置が800c/s程度までしか測定できないものであったため、実測できなかつた。それで検出部のばね常数を実測し、ポンチ等の附加質量を計算と実測で求め、単一ばね質量系の振動として扱い、計算で求めた。この場合の固有振動数 f は、 k をばね常数、 M を附加質量、

$$M' \text{ をばねの質量とすると、} f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{M + \frac{M'}{3}}} \text{ で与えられる。}$$

結果を表1に示す。いずれも測定に充分な高い振動数である。

表1 検出部の固有振動数

検出部	ばね常数 kg/cm	附加重量 kg	ばね重量 kg	固有振動数 c/s
32mm 剪断力	15.9×10^4	1.27	0.848	2.48×10^3
打抜用 引拔力	2.17×10^4	0.086	0.201	1.88×10^3
小穴抜用 剪断力	7.35×10^4	0.05	—	6.04×10^3
引拔力	0.665×10^4	0.122	0.430	0.789×10^3

検出部の較正は、ループダイナモメータを用いて静的に行つた。実用上差支えない程度の直線性と再現性が得られた。結果を図3に示す。

図3 検定線図

2.6 電気炉

1.5KVA の温度調節器付電気乾燥炉を使用した。

3. 実験方法

3.1 要因と割付け

実験は準備した試験型に応じて、32mm 抜きと小穴抜きとに分け、それぞれ表2に示した要因を $L_{27}(3^3)$ 型直交配列表に割付けて行つた。供試材料の性質は表3の通りで、板厚は1.6mmである。加熱温度は電気炉の設定温度、また加熱時間はその電気炉に材料を挿入保持する時間である。

表2 要因と水準値

要因	型の種類	32mm 抜き	小穴抜き
ダイス直径 mm		32	6, 3, 1.5
ストリップとポンチのクリアランス (片側) mm		—	0, 0.25, 1
ダイスとポンチのクリアランス (片側、板厚百分率) %		0.3	3 12
加熱温度 °C		120 135 150	
加熱時間 分		8 18 28	
材料 (板厚 1.6mm)		P4A, P3B, P5	

表3 供試材料

種別 特性	P 4 A	P 3 B	P 5
特性	高位の耐縮性を有し電気的耐湿性は P 3 B にやや劣るが加工性良好なもの	中位の絶縁抵抗・耐湿性・打抜加工性を有するもの	最高位の絶縁抵抗と耐湿性を有し、打抜加工性を有するもの
基材	コットン紙、コットンリント紙またはこれと同等以上のもの	コットン紙、コットンリント紙、クラフト紙、パルプ紙	コットン紙、コットンリント紙又はこれと同等以上のもの
わん曲率(倍)	80	100	100
収縮率(%)	3.5	—	—
絶縁抵抗 (MΩ) 以上	5×10^2	10^3	10^4

(電電公社、材仕 66号3頁)

3.2 セン断力・引拔力・ポンチストロークの測定

図4に記録例をトレースして示す。せん断力線図(縦軸：剪断力、横軸：左から右へ時間)を見ると、小穴抜の場合せん断力が急激に最大値になつた後或る一定値に落付く。この値はポンチが板を貫通するまでほぼ一定であつて、シャ角をつけた直線刃による金属のせん断線図と類似の曲線である。この一定値は、クリアランスと穴直径が大きくなる程減少し、32mm 打抜きでは現われな

(b) 小穴抜の場合

図 4 剪断力・引抜力線図

なる。線図の最大波高値をせん断力・引抜力とし、これらを見掛けのせん断面積（ポンチ直径×板厚× π ）で除した値をせん断抵抗・引抜抵抗として結果を整理した。また両抵抗の比も求めた。整理に当って打抜順序も考慮した。帯状の材料を順送りに打抜けば、その間に材料温度が次第に低下する。この効果を見るため、本実験では、炉から出して最初の打抜きを行うまでの時間が8～10秒、それから2～3秒間隔で2箇目、3箇目の試料が打抜かれる状態であつた。

図 5 剪断切口面の記録例
(剪断条件は図 6 に同じ)

クリヤランス	0.3%	3%	12%
材 料	P5	P5	P5
温 度	120°C	135°C	120°C
時 間	28'	8'	8'

図 6 剪断切口面の形状

3.3 せん断切口面の測定

32mmの丸形ブランクについて、図6せん断面の幅 a_1 、だれの幅 b 、欠けの幅 a_2 、チップの深さ g の

寸法を光切断法による断面の投影写真より求めた。図5の写真例からわかる様に、切口面の形状はかなり不規則で、各部の境界を明確につけ難い。写真を重ね合せ、各試料の直交する2断面の平均値をとつた。図6は此の様に得られた断面をトレースしたものである。図で厚み方向の倍率は62倍、直角方向が87.7倍である。またブランクのダイス側から見た欠けの深さ e_2 、割れまたは変色部の深さ e_1 、ポンチ側から見た欠けの深さ f は工具顕微鏡で測定した（図8-II参照）。一方小穴周縁には、パルジ j を生じ、ダイス側にはいくらかの返りが出る。返りの量は無視出来る程度であるから、パルジと返りを含めた全厚さと板厚の差をパルジ j とした（図8-IV参照）。マイクロメータで測定した。

3.4 寸法の測定

板金の場合、外形寸法はダイス寸法に、穴寸法はポンチ寸法にはほぼ等しくなる。此の場合も板金に準じて扱うこととし、32mm ブランク外形寸法はコンパレータで測定しダイス寸法との差を、また小穴の寸法は工具顕微鏡を用いポンチ寸法との差を求めて整理した。また層積板は、吸放湿による寸法変化がかなりあると考えられるので、打抜後30分と、2日及び30日目の寸法変化を測定した。試料は打抜後そのまま空中に放置しておいたものである。

4. 測定結果

4.1 セン断抵抗・引抜抵抗

せん断抵抗・引抜抵抗および 両抵抗の比に及ぼす各要因の主効果を、図 7 に示す。分散分析の結果は省略するが、32mm 打抜き実験に於いては、加熱温度と加熱時間

図 7

および加熱温度と材料の交互作用は有意でない。小穴抜きでは、ポンチとダイスのクリヤランスと加熱温度および材料間の交互作用が有意でない。したがって主効果のみを図示した。

(i) クリヤランスの効果 (図 7 a)

せん断抵抗・引抜抵抗ともに F 分布の 1% 点で有意であり、加熱温度とともに最も効果が大きい。引抜抵抗はクリヤランスが大きくなると減少するが、せん断抵抗は 3% 附近に極大点を生じる様である(註 2)。しかし全体的には減少し、金属と同傾向を示す。一方両抵抗の比は、クリヤランスと共に増大し、特に 32mm 打抜きの場合に甚しい。

(ii) 加熱温度と加熱時間の効果 (図 7 (a) (b))

供試材料では、加熱すると軟化しそれに伴って熱硬化が進むと考えられる。したがって加熱温度が高くなる程せん断抵抗は減少し、一方加熱時間が長い程熱硬化が促進されてせん断抵抗が増す傾向になる。分散分析の結果、加熱時間およびこれと加熱温度の交互作用が有意でないから、温度による軟化が一方的に現われたことになる。

しかし既報²⁾の様に両者の交互作用が見られる材料もあり、加熱条件については更に検討する必要がある。引抜抵抗と両抵抗の比にはあまり効果が無い。

(iii) 寸法の効果 (図 7 (c))

穴直径の効果は、小穴抜きの実験に於いて 1% 点で有意である。穴直径が小さくなると、せん断抵抗・両抵抗の比が減少し、引抜抵抗が増加する。この傾向は、図から判断すると、穴直径が板厚の 5 倍以下に小さくなると著しくなる。

(iv) ストリップとポンチ間のクリヤランスの効果

せん断抵抗には、型の構造からして効果がない著である。ところが 5% 点で有意となつた。これは直交配列表の割付けからして、穴直径とダイポンチ間クリヤランスの交互作用が交絡されているためと考えられる。引抜抵抗には、とり上げた要因中最も効果が小さかつた。

(v) 打抜順序の効果 (図 7 (b))

帯状の材料を連続打抜きすると、材料温度が次第に低下し、硬くなるため剪断力が増加する。前に述べた様に炉から材料を出して 20 秒以内に 3 箇所が打抜かれる状態でも、32mm の打抜きでは剪断抵抗が約 10% 程度増加している。引抜抵抗は増加し両抵抗の比は減少する傾向がある。

(vi) 材料の効果 (図 7 (b))

供試材料間には著しい効果が認められない。しかし打

(註 2) 材料によつて、極大点を生じないものもある。

抜き易いと規定された P4A のせん断抵抗が必ずしも低いのは注意を要する。

4.2 剪断面の形状

1) せん断面の種類

フェノールレジン積層板は、紙や布等の基材にフェノール樹脂を含浸させ、これを層状に重ねて加圧加熱硬化させたものであるから、板金と本質的に異り、層間、膜面の方向性が著しく均一な材料ではない。またせん断加工では、積層板を加熱し或程度軟化させて行う。ところが軟化と同時に熱硬化反応も促進され、せん断加工時に於ける材料の機械的性質は、加熱条件の他に樹脂の状態や基材の種類によつて著しく変つてくる。また加熱軟化させても金属よりはるかに脆い。一方せん断工具は冷い(室温)のでせん断開始期と完了期とは板の温度すなわち機械的性質も異っている筈である。これらの事柄から容易に推察される様に、せん断現象あるいはせん断面の形状は、金属材料のそれと比較してかなり複雑である。一方無機材料マイカ板もせん断加工して用いられるが、これは層間剝離性が著しくかつ塑性域もない。積層板のせん断面は、マイカと板金の中間にあると考えられる。

図8にせん断切口面を分類して見た。図8(I)は打抜性の悪い材料の例で、せん断面の幅が極端に小

図8 剪断面の種類

さく、断面全体にわたつて(i)または(ii)に示す3角形の大きいチップを生じる。さらにせん断面にも層間剝離による割れが見られ、マイカのせん断切口面⁵⁾に近い。(II)は普通に見られる断面であつて、マクロ的に見れば金属のそれとほぼ同様な形状をしだれ b 、せん断面 a_1 がある。打抜性の悪い材料或いは打抜条件が悪いと、せん断面 a_1 にもチップングが不規則に分布し、金属の如き様な光沢面は見られない。本来の割れの面 c は、ポンチ面より ψ なる角度でポンチ面内の方向に割れが入り、これに不規則にチップが附着した状態であつて、割れの深さ h は、肉眼的深さ g よりも深い様である。まただれ b とせん

断面 a_1 の間に欠け a_2 を生じる。これは金属に見られない面である。ブランクのダイス側表面には、僅かなだれに続いてせん断輪廓線に平行な割れや変色したかなり幅の広い層 e_1 を生じる。 e_1 は金属のだれよりはるかに大きく、せん断加工による変形の影響が相当広い部分に及ぶことが推定される。(III)は打抜性の良い材料を小さいクリアランスでせん断した場合であつて、だれ b 、欠け a_2 に続いてせん断面 a_1 が板厚全体に及んでいる。ただチップングが a_1 内に不規則に分布し、金属の2次せん断面の現われる場合に相当する。図6の実測例は図8-(II)に相当する。

寸立法が板厚の数倍以下の場合、穴の周縁のポンチ側表面に(IV)に示す様な板金では見られないバルジ j を生じる。これはポンチと材料の摩擦力により、ポンチの引抜行程中材料が層間剝離を起すためと思われる。

板金のせん断加工では本質的に避け得られない返りは、フェノールレジン積層板の場合無視することができ。返りが殆んど出ないが、出ても脆いため簡単に脱落するからである。

2) せん断切口面各部の寸法

32mm 丸形ブランクのせん断切口面各部の寸法を図9

グラフの信頼限界(99%)は、クリアランス、温度、時間、材料に対して、 $a_1: \pm 0.138$, $a_2: \pm 0.188$, $b: \pm 0.09$, $e_1: \pm 0.054$, $e_2: \pm 0.008$, $g: \pm 0.011$, $f: \pm 0.007$

図9 剪断面の形状

に示す(図中の記号は図6および図8-(II)の記号に対応する)。

(i) クリアランスの効果

他の要因にくらべて最も効果が大きい。金属ではクリヤランスが大きくなると材料の絞りこみによるだれ b が増し、一方モーメントの増加によりクラックの発生が早められてせん断面の幅 a が減少する。しかし喰込量($a+b$)は材質のみに関係し、クリヤランスと無関係に一定である⁹⁾。これに反して供試材料では、喰込量(a_1+a_2+b)がクリヤランスに反比例して急激に減少する。まただれ b とせん断面の幅 a_1 は金属と同傾向であるがその程度は金属より大きい。欠けの幅 a_2 はクリヤランスのごく小さい0.3%で大きく、3%以上は略々一定値を示す。

割れのせん断面からの深さ f, g において、 f は型と材料の接触点までの深さであるからクリヤランスを示すと考えられ、その値もほぼ一致している。またチップング深さもクリヤランスと共に増大する。しかしポンチ接触面からのチップングの深さ($g-f$)を求めると、逆に減少している。これは仕上抜きを行う場合注意すべき事項であろう。

積層板せん断製品の評価に当って、表面の変色や割れは金属せん断製品の返りに相当する程度に重要視されている。だれの一部が欠けたと考えられる e_2 は一定値0.035mm程度であるが、変色や割れの幅 e_1 はクリヤランスに比例して急増する。これはせん断による変形領域が広がるためであろう。以上からクリヤランスの小さい程、せん断面の長い表面の美しい製品が得られると言える。

(ii) 加熱温度の効果

せん断抵抗におよぼしたほどの大きい効果は見られない。また供試材料との交互作用は有意でなかつた。しかし温度が高くなると軟化し、せん断面の幅 a_1 、だれ b が大きくなり、欠け a_2 、チップング深さ g 、表面の割れ e_1 が夫々減少する傾向を示す。

(iii) 加熱時間の効果

せん断抵抗の場合と同様にほとんど効果がない。しかし加熱時間と共に熱硬化が進み、チップングや表面割れがいくらか増加する傾向がある。加熱温度との交互作用は b と($g-f$)のみが5%点で有意で、他の寸法は有意でなかつた。

(iv) 打抜順序の効果

打抜順序があとになるほど材料の温度が降下して、せん断抵抗が直線的に増加した。この影響が切口面にもいくらか現われ、チップングや表面割れが増加する傾向がある。

(v) 材料の効果

P3B, P5にくらべてP4Aが打抜き易いと規定され

ているが、これらに明確な差が認められない。更にせん断面の幅、欠け、表面割れおよびせん断抵抗等の間に一義的な関係が見出されない。換言すればせん断抵抗が大きくても打抜きが悪いとは限らず、表面割れの多い材料はせん断面が悪いとも言えない。せん断製品のどこに重点を置くかで、材料の選定も変えるべきであろう。

3) バルジ

バルジ j に及ぼす効果は、穴直径が1%, ポンチとダイスのクリヤランスが5%点で有意であつた。これを図10

に示す。他の要因

は有意でないから図示しなかつた。

バルジは穴直径が大きくなると急激に減少し、6mm(板厚の3.75倍)では殆んど無くなり32mmの打抜きでは全く生じない。またクリヤ

ランスが増加しても急激に減少し、これらは図7に示した引抜抵抗と同一傾向である。従つてバルジはポンチ引抜きに於ける材料の層間剝離によつて生ずると思われる。

4) 製品寸法

せん断製品の寸法は、次の要因によつて影響を受ける。すなわち材料を加熱するから、(i) 含水率の変化による収縮⁷⁾、(ii) 線膨張、(iii) 熱硬化反応の促進による収縮等の熱的效果と(iv) せん断加工の本質上避け得ない寸法変化、(v) 製品使用中の吸放湿等による経時寸法変化等である。これらの効果は材料によつても相当異なるから、高精度の製品を安定にせん断加工するのはかなり困難である。寸法についての詳細は次の機会にゆずることにして、図11に

図10 小穴抜におけるバルジ高さ

図11 製品寸法

32mm 打抜きのブランク外径と6mm以下の小穴直径の収縮量をそれぞれダイス及びポンチ寸法を基準にして示した。32mm ブランク外径の収縮量はクリヤランス、加

熱温度、材料が、また小穴直径の収縮量はクリアランス、穴直径、材料がそれぞれ1%点で有意であつた。他の要因は有意差がないので図示しなかつた。クリアランスの効果は金属と同傾向で⁸⁾、クリアランスが大きくなるとブランク寸法は小さく、穴寸法は大きくなる。加熱温度が高くなると、前記(イ)(ロ)(ハ)の効果により、収縮量が増加する。

図12は32mm ブランク外径の経時変化である。本実験の場合吸湿により寸法が次第に大きくなっているが、材質や雰囲気の状態によつて、その値はかなり異つたものとなる。

図12 32mm ブランク直径の経時変化

5. 総括

紙基材で板厚1.6mmの材料 P3B, P5, P4A について、直径が32, 6, 3, 1.5mmの丸形打抜きを行い、クリアランス・加熱温度・加熱時間・打抜き寸法・材料・打抜き順序およびストリップとポンチ間のクリアランスの効果、実験計画法を用いて検討した。

(1) セン断抵抗には、加熱温度・クリアランス・打抜き直径がF分布1%点でまた加熱時間が5%点で有意であり、他の要因の効果は小さい。加熱温度とクリアランスが増し、打抜き直径が小さくなると剪断抵抗が減少する。

(2) 引抜き抵抗には、クリアランスと打抜き直径が1%点で、また材料が5%点で有意であつた。クリアランス・打抜き直径とも大きくなるほど引抜き抵抗が減少する。この傾向は打抜き直径が板厚の数倍以下の場合著しい。

(3) 引抜き抵抗に対するセン断抵抗の比には、クリアランス・打抜き直径・材料が1%点で有意であつた。クリアランス・打抜き直径がますますこの比が増大し、その値は3~200と大幅に変化する。

(4) セン断切口面は複雑不規則であるが4種類に分類でき、特殊なものを除いてはマクロ的に板金の場合に準じて扱える。ただし板金では見られない面 a_2 , バルジ j を生じる。また返りは無視することができる。

(5) セン断切口面各部の寸法には、対象部分によつて

も異なるがクリアランス・加熱温度・材料の効果も大きい。クリアランスが大きくなると、セン断面の幅 a_1 やチップングの深さ ($g-f$) が減少し、表面の割れ e_1 , セン断面からのチップング深さ g , だれ b が増加する。

(6) バルジはポンチの引抜き行程で生じ、クリアランス・穴直径が大きいほど減少する。特に穴直径が板厚の数倍以上になると生じない。

(7) 製品寸法は変化を受ける要因が多く不安定である。ブランク寸法は、クリアランスが小さく加熱温度が低いほどダイス寸法に近ずき、穴寸法はクリアランスと穴直径が大きいほどポンチ寸法に近づく。

(8) 材料については、セン断抵抗等の力学的な量とセン断切口部の幾何形状の量との間や、セン断切口面と表層の状況(表層割れやバルジ)の間に一義的な関係は見出されない。

終りに研究を行うに当つて、終始懇切な御教示を頂いた東京大学前田禎三助教授、同福井伸二教授並びに材料を提供して頂いた当所片桐室長補佐、測定の一部を担当された森本社員、種々便宜を計つて頂いた鶴沢室長に深く感謝する次第である。

(1960, 2月15日 受付)

参考文献

- 1) 例えば E.C.Grasser; Product Eng., April (1956) p.95-96, ASTE: Die design handbook, (1955) p. 4-10~21, The Formica Corp, Cincinnati 32.
- 2) 中野一, 北条英典: フェノールレジソ積層板の打抜き性 [1], 通研経過資料, 第482号 (1956-8)
- 3) 萩原尊礼: 振動測定, 宝文館 (昭20) p.113.
- 4) 福井伸二, 前田禎三: 精密機械, Vol.16, No.3 (1950) p.6-13等, 斎藤博: 精密機械, Vol.21, No.11 (1955) p.419-423.
- 5) 北条英典: マイカの打抜き加工について, 通研経過資料, 第406号 (1955-9)
- 6) 津枝正介, 長谷川嘉夫, 斎藤長男: 抜型クリアランスの研究, 機械学会論文集, 20巻 94号 (1954) p.368-374.
- 7) 松井千里: 熱硬化性樹脂, 日本機械学会講習会テキスト (1958) p.19-35.
- 8) 例えば, 斎藤博: 精密機械, Vol.18, No.2 (1952) p.49-53, 前田忠正: 精密機械, Vol.25, No.11 (1959) p.37-44, 前田禎三: 精密機械, Vol.17, No.1 (1951) p.17-22等