

合わせ板深絞り法の実用化に関する検討

静岡大学 工学部 機械工学科

助教授 平岩正至

(平成4年度研究開発助成 AF-92023)

1. 研究の背景

近年、製品の高級感および軽量化が重視されるようになってきている。木材は視覚および感触の面で優れており、家具や調度品は木彫品が高級品と認められている。また、高級車の内装材としても使用されてきた。前者の場合は、過大な寸法や重量も重厚感として評価されるが、後者の場合は、木材そのままよりも、比強度を高めて使用することが望ましく、金属板に化粧木板を接合し一種の合わせ板として使用するようになってきている。その場合の成形方法は木材の集成材の曲面成形と同様に各部材を接着しながら成形する方法がとられ、トリミングや穴あけは切削によるなど、木材加工にならった加工方法が採られており、金属板のプレス加工に比べ著しく生産性に劣っている。

ところで、合わせ板を板厚方向に材料性質の異なる板としてその深絞り性を検討した結果、単独では難加工状態の「はく」も合わせ板部材として成形した例を示した。そこで、平板の合わせ板を素材として成形することを目的として、銘木木板とアルミニウム板の合わせ板の薄板、厚板さらに木板の一部に代え樹脂で強化した材料のプレス加工の可能性を検討することにした。

一方、軽量化の点で関心の高いAl-Mg系合金材の円筒段付品の成形において段部に割れが発生し、製品化を留まらせている事例を得た。これについては、先の合わせ板の深絞り性の検討において、熱処理材と非熱処理材の組合せを焼入れした状態で、強度と深絞り性がともに向上した例を示している。そこで、この段部割れの発生条件を調べ、合わせ板法による成形性改善の適用を検討することにした。

2. 結果の概要

A. 銘木化粧板材のプレス加工

A1. 銘木板とアルミニウム板の両面合わせ板の成形

1. 目的

半硬質アルミニウム板の両面に銘木板(クラロウォールナット)を接着剤により接合した試験材の成形特性を調査する。

2. 供試材

芯材アルミニウム板の板厚は公称0.1、0.2および0.3mm、皮材銘木板は全て公称0.2mmである。全板厚は、引張試験片の実測値において、表1に示すバラツキをもつ。木目方向は一般に表側と裏側で直交している。

表1 Sandwich materials used.

| Skin wood | Core metal | | Sandwich sheet |
|----------------------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| Walnut | Half-hard pure aluminum | | Adhesive-bonding |
| Nominal thickness tw mm | Nominal thickness ta mm | Hardness HV | Measured thickness t mm |
| 0.2 | 0.1 | 42 ~42.5 | 0.535~0.582 |
| | 0.2 | 39.5~42 | 0.592~0.632 |
| | 0.3 | 37.5~41.5 | 0.716~0.750 |

3. 引張試験

(1) 試験方法

JIS13号B試験片とし、逆押え付きの型せん加工の後、やすりで簡単にかえり取りした。試験片の原板の長手方向に対し、0°、45°および90°の3方向で採取した。引張り速度は2mm/minとした。

(2) 伸び

0°方向と90°方向は表裏いずれかの伸びの小さい木板0°方向の破断が変形を局部化して合わせ板の破断を導くものとみられ、荷重上昇中の破断が多く、伸びはおよそ1%と小さい。これに対し、45°方向は最大荷重時の破断となり伸びがおよそ2%と大きい。

木目方向の影響を確かめるため、特に表裏の木目が同方向の試料について伸び-荷重線図を求めると図1の実線となる。

図から、木目と平行方向の試片の伸びはおよそ1%と極めて小さく、これに比べ垂直方向の試片の伸びはおよそ3%とかなり大きい。これより、上述の0°および90°方向の破断の様子が理解される。また、このため、後に述べる成形品の表面損傷は木目方向に張力を受ける部分に生じる。

(3) 水分の影響

木材性質は水分の影響を受けやすい。極端な場合として、3時間水に浸した試験片の荷重-伸び線図を破線で図1に示す。自然乾燥状態と比較して、水浸したものは伸びが著しく向上し、変形荷重は低下している。

しかし、以後の各実験は、一部特記するものを除いて自然な乾燥状態において行なった。

(4) 引張強さ

原板によって採取方向の違いより大きなバラツキが認め

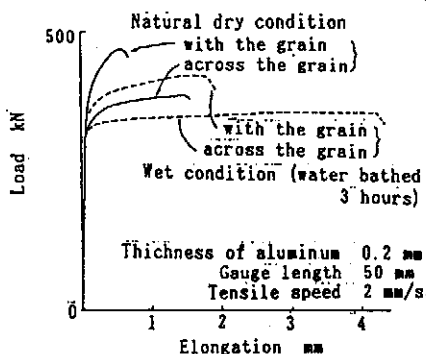


図1 Effects of grain and moisture on load-elongation curve.

られ、方向別の値は出し難い。全方向の平均値は芯材厚さ0.1、0.2、0.3の合わせ板につきそれぞれ、41.5、55.3、68.8 MPaとなった。

木板の構成板厚比との関係は直線的であり、アルミニウム半硬質材は加工硬化が小さることから、合わせ板の引張強さはおよそ両構成部材の引張強さの代数和になるとみなしうる。この直線関係より木板の引張強さを外挿すれば、 $S_{\gamma w} = 19\text{MPa}$ となる。この値は木材の標準値に比べ小さいが、これは単板が薄く裏割れが生じているためと思われる。また、アルミニウム半硬質材の引張強さを外挿すれば $S_{\gamma a} = 138\text{MPa}$ となり、標準的な値となる。これより、全体に占める木板の荷重負担割合を求めれば、芯材板厚0.1~0.3の合わせ板につきそれぞれ0.36~0.16となる。

4. 曲げ試験

(1) 試験方法

この材料が表面の装飾性を目的とするものであることから、木板表面の損傷によって成否を判定した。木目模様と比較的整った所から、平行および垂直方向の試験片を採取し、その面を曲げの外側にした。

試験はJIS Z2248の巻き付き曲げ試験法に準じた方法で行なった。ただし、表面損傷は曲げの初期に発生するので90°曲げとした。また、試験後取り出した試験片の角度を測定し、はね戻り角を求めた。はね戻り角はとり出し後2時間まで最大で8%ほど増加するため、その後に測定した。

(2) 限界曲げ半径

図2に限界曲げ半径 r_c を白抜き記号で示す。木目方向と平行に曲げる場合は、全て曲げ半径 $r=0$ で木板表面に割れを生じ、 $r=1.25$ では割れが見られなかった。すなわち、最小曲げ半径 r_c/t は0.25以下である。一方、木目方向と垂直に曲げる場合は、板厚とともに限界曲げ半径が大きくなり、7.5~12.5となった。これより最小曲げ半径を求めると、いずれも約15である。このように、木目方向と垂直に曲げることは、木目方向と平行に曲げることに比べ著しく不利なことが判った。

平ダイス上のゴム板に押しつけて曲げる方法によれば、

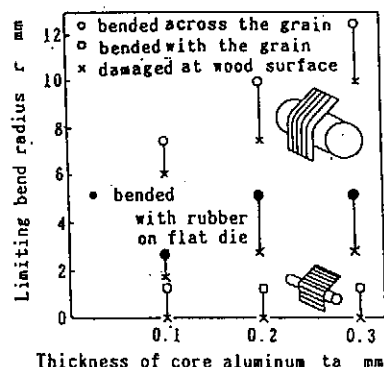


図2 Limiting bend radius.

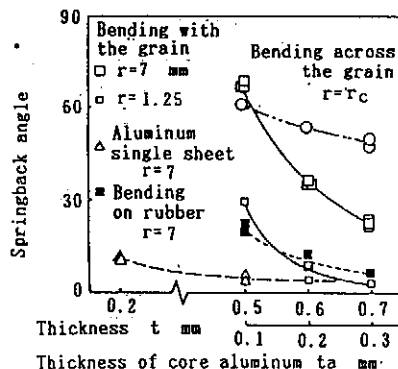


図3 Springback angle after 90° wrap bending

面圧約1.7MPaまでにおいて、図2に黒塗り記号で示したように限界曲げ半径が約1/2に向上した。

(3) はね戻り角

図3に、90°曲げ後ののはね戻り角を白抜き記号(□)で示す。曲げ半径 $r=7\text{mm}$ の繊維と平行の曲げにおいて、アルミニウム単一材(△)に比較し極めてはね戻りが大きいことがわかる。ただし、限界曲げ半径である $r=1.25$ ではかなり小さくなる。一方、繊維と垂直の曲げは限界曲げ半径が大きく、そのはね戻り角(○)は大となる。

湿潤状態では、芯材板厚0.3の合わせ板の繊維と垂直の曲げの限界曲げ半径が5に改善し、そのはね戻り角は12.1°に減少する。この角度は乾燥後も変わらない。

上記のゴムダイス曲げによるはね戻り角は、図3に黒塗り記号で示すように、巻き付け曲げに比べ著しく減少する。

つぎに、これまでの平ダイスでは局所的な押し付けになるため、凹ダイスとし、また、垂直力によらず常に90°曲げとなるようにポンチ角90°の受けを付けたポンチによる曲げを行った。さらに潤滑方法を次のように変えた。①無潤滑=常用、②試料ゴム間を潤滑=試料に垂直力のみ付加、③ポンチ試料間を潤滑=垂直力と摩擦力を付加。

その結果、はね戻りの抑制には垂直力の増加に加えて円周方向張力の効果が大きであることが判った。ただし、この場合押しすぎによる破断の危険を伴う。図4にゴム厚がは

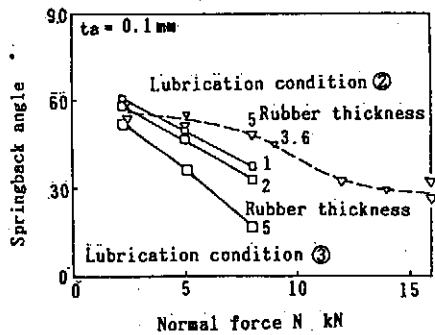


図4 Effects of rubber thickness on springback angle.

ね戻り角に及ぼす影響を示す。垂直圧のみ付加する潤滑条件②はゴム厚によらず垂直力でおおよそ整理できる。一方、垂直力とともに円周方向張力も付加する潤滑条件③はゴム厚が大になるほどはね戻りが減少している。

これは、厚いゴムほど厚さ方向圧縮に伴うゴムの面方向の移動が大で、摩擦力が有効に張力を与えるためである。このことから、実用する場合は表面損傷防止には薄いゴムでよいが、はね戻り抑制には厚いゴムの使用がよいといえる。

5. エリクセン試験

全面無潤滑とし、しわ押えとのすきまを0.05mmとする方法で、70mm×70mmの試験片を試験した。その結果、エリクセン値は3と小さく、張出し性に劣ることが判った。

6. 深絞り試験

(1) 絞り限界

芯材板厚0.3および0.2は、相対ポンチ肩半径が小さく張出し変形が少なければ、絞り比1.6程度が絞れることが判った。ただし、図5に示すように、製品のポンチ肩部外側およびダイス肩部内側すなわち曲げの外側となる木板表面が損傷する。その対策または内面もしくは外面を部分的に使用するなどの使い分けが必要となる。ダイス肩半径が曲げ試験における限界曲げ半径より大きな場合については実験してないが、口辺しわを発生し、ポンチ肩半径を大きくすればいっそうその危険を増すと思われる。

(2) ポンチ肩部外表面の損傷の防止

ゴムダイス法(マーホーム法)を試みた。剛体ダイスの場合と同じ、絞り比1.6が絞れた。

表面状態は、平頭ポンチで、ポンチ行程の浅いうちはダイス肩相当半径が大きく、ポンチ肩部外表面およびダイス肩相当部内表面とも損傷がなく、ポンチ行程が進むとダイス肩相当部内表面に損傷が発生した。

結局、ゴムダイス法でゴムに接するポンチ肩部外表面の損傷を防止できるが、内表面の損傷は防止しがたい。

(3) ダイス肩部内表面の損傷の防止

ポンチなし深絞り法(マスレニコフ法)を試みた。絞り比

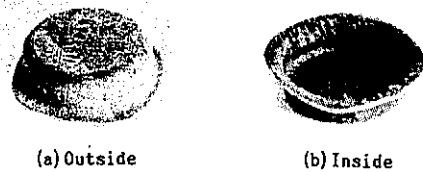


図5 Product.

2では行程終期まで成形できた。これにより、ダイス肩部のカップ内表面の損傷は防ぎえたが、木板のしわやあれが目立った。また、カップ肩部外表面は損傷した。これを防ぐためこの部分の丸みを大きくする工夫を試みたが、成功しなかった。

すなわち、ポンチなし深絞り法はダイス肩部のカップ内表面の損傷の防止に効果のあることが認められたが、表面性質が局部的に不均一なこの種の材料では良い製品をえがたいようである。

7. まとめ

(1) 引張変形に対する水分の影響は大きい。

(2) 最小曲げ半径の異方性が著しく、表面木板の木目と平行な曲げがおおよそ2であるのに対し、垂直な曲げはおおよそ15である。

ゴムダイス曲げにより、最小曲げ半径がおおよそ1/2に向上し、はね戻りが著しく減少する。はね戻りの制御には円周方向張力の効果が大である。

(3) 張り出し性は極めて悪く、エリクセン値は3程度である。

(4) 剛体工具による限界絞り比はおおよそ1.6であるが、ポンチ肩部外側およびダイス肩部内側の木板表面の損傷を避けられない。

ゴムダイス絞りによるポンチ肩部の表面損傷を防止できる。また、ポンチなし絞りはダイス肩部の表面損傷防止に効果のあることが認められた。

A2. 多層の木板とアルミニウム板の合わせ板および樹脂補強材のプレス加工

1. 目的

自動車内装材などとして実用されている厚板のトリミングおよび穴あけへのせん断加工の適用および平板からの成形加工を検討する。

2. 供試材

供試材を表2に示す。試験材の荷重-伸び線図を付記する。木材については、4枚の単板の木目を揃え、または直交して接合して引張試験した。

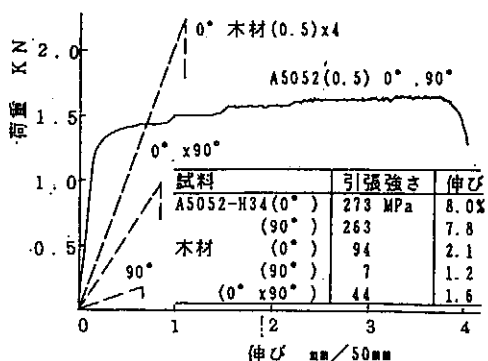
3. 穴あけ加工

ポンチセットを用い、速度7mm/minにより、直径20mmの穴あけ加工を行なった。刃先角は一般に90°である。板押さえ圧力は高すぎると製品表面を傷つけるため、圧力約

表2 供試材

| 試料 | 構成 (板厚) | 備考 |
|-----|----------------|------------------------------|
| a | | 実用材 成形 接合 |
| a' | 上記の未塗装材 | |
| b 1 | 銘木(0.2) | b 1 |
| b 2 | 木材(0.5)0° | b 2 |
| b 3 | 木材(0.5)90° | b 3 |
| b 4 | 木材(0.5)90° | b 4 |
| | 1箇所に7MニウM(0.5) | |
| | | 平板 接合 |
| c | | 実用材 平板 接合+ 射出 成形 |

角度は圧延または木目方向と引張方向の角度



0.8MPaとなるスプリングを使用した。

試料aを使用し、塗装面をポンチ側にして加工する場合を表方向、ダイス側にする場合を裏方向と称する。一部未塗装の試料a'も使用した。

3.1 せん断方向の影響

図6に示すように、製品について表方向では塗装膜を部分的に分断するワレおよびより広範囲にヒビ割れが生じ、裏方向では局部的に微かなき裂、ヒビ割れが生じる。一方、くずでは抜き方向と損傷の関係が製品とは逆になる。つまり、工具面に接した塗装面は損傷が少なく、穴あけでは裏方向がよいことになる。ただし、最終分離面となる塗装膜およびアルミニウムまでの木材は破断面となるため、穴縁は滑らかにならない。

なお、表方向で、板押え内径をポンチ外径と同一にし板押え力を高くしても、ワレの状況は改善されなかった。これは、刃先の切込み前に木板の圧縮があり、塗装膜はだれとなれずにワレを生じるものと考えられる。

3.2 クリアランスの影響

(1) 表面性状

表裏による表面性状の相違はクリアランスによらなかった。



(a) 表方向 (b) 裏方向

図6 表面性状

(2) 穴寸法

表裏の面の穴の寸法は、ポンチ側寸法はポンチ寸法になり、ダイス側寸法はダイス寸法になった。すなわち、クリアランスは小さいほど、分離面は板面に垂直になる。

(3) かす取り性

クリアランスが小さいと、製品をポンチから取り外すために大きな力を要する。取り外し性も考慮して、常用クリアランスは0.15mmとした。

3.3 ポンチ押込量の影響

表面性状および穴寸法とも押込量によってあまり変わらなかった。

押込量が板厚の50%では分離せず製品にくずが残った。75~95%では製品を持ち上げることで、くずをダイス内に残して分離できた。

常用押込量は板厚の100%とした。

上記常用条件による製品を図7(b)に示す。

3.4 シュービング加工

上記慣用せん断による製品は、図7(a)に示す切削加工製品に比べ、分離面が著しく劣っている。このため、シュービング加工を行なってみた。

刃先角90°のポンチによる裏方向からの加工でヒビ割れのみが発生する。分離面はいくぶん向上した。一方、表方向では、シュービングによって新たなワレを生じ、効果はえられない。

45°前傾斜角つきポンチによれば、図7(c)に示すように、分離面性状が向上する。

3.5 加工手順の変更

シュービング加工をしても、上記のように穴の端面が滑らかでなく、塗料膜に僅かなヒビ割れを伴う。そこで、未塗装材を穴あけ後塗装し、シュービングする場合を試験した。

図7(d)に結果を示す。これまでとは逆に、表方向で表面損傷がなく、穴端面も良好となった。一方、裏方向の塗装膜にワレが生じた。この理由は穴部周辺の塗料は穴側にだれていて、表方向では切込みやすくなり、裏方向ではダイス面と密着しないためである。

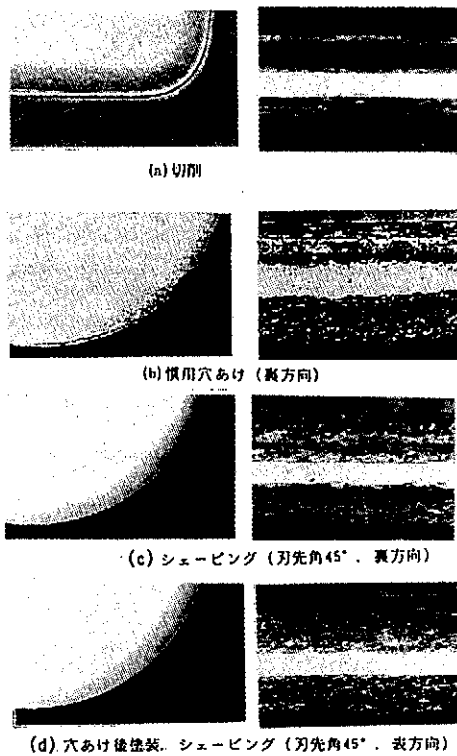


図7 加工条件による製品の比較

4. 直線刃によるせん断

成形品の外形トリミングでは、外周部が曲面をなしている、せん断面が板面と垂直にならない場合が多い。このため、下工具を精密サインバイスに取り付け、板面とせん断面の角度を垂直から 0° ~ 45° 変えうる装置を用い試験した。下工具の刃先角は 90° 、上工具は 90° 、 45° 、 30° および 5° のとすきま角、 2° のシャ角をつけたものも用意した。取り代は一般に6mmとした。

なお、この場合、すべてダイス側が製品となる。

4.1 塗装材の場合

(1) 垂直せん断

表方向では塗装膜にワレを生じ、刃先角を鋭くしてもなくならない。裏方向ではアルミニウム材より下層は破断面となり、塗装端面は滑らかでなく、表面縁も損傷する。ただし、刃先角が鋭いほど、また、隙間角をつけることにより、分離面はきれいになる。

穴あけと同様の結果である。

(2) 傾斜せん断

図8 (a) に示すように、アルミニウム材より下の木材層が板面と垂直にちぎれて形状不良になる。これは、アルミニウム切断後のブレイクスルーにより、くず側アルミニウムと木材が一体となって、長いせん断面よりも短い板厚方向でちぎれるものである。したがって、裏方向では塗装膜が損傷する。

一方、表方向で、傾斜角が 20° より大では塗装表面のヒ

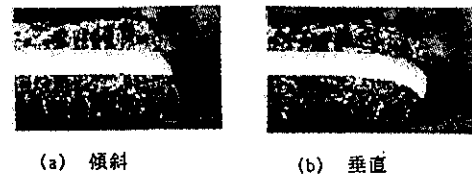


図8 分離面形状

ビ割れが小さくなり、傾斜角 30° で刃先角 30° では、塗装表面のヒビ割れがなくなった。分離面はきれいになるが、アルミニウム材より下層はちぎれる。シャ角をつけると、この下層のちぎれは小となる。

(3) とり代の影響

垂直せん断では、とり代が6mmより小さいと、図8 (b) のようにアルミニウムのだれが著しく、上部木材にワレや分離を生じやすい、これは下部木材にずれ変形が起きやすいため、アルミニウムのだれが大となるためである。

一方、傾斜角 30° の場合は、上工具刃角が切込みやすく、とり代によるそのような影響はない。とり代小で、ちぎれ小となる。

(4) 改善策

表方向における塗装膜のワレの原因と考えられる木材の圧縮または曲げによる表面変化に追随するように、また刃際まで押さええるように、板押えの下にウレタンゴムを使用してみたが、表面のワレをなくせなかった。

切込みをよくして上記圧縮を減らす、また、くず部を支えて曲げを減らすことは表面ワレの対策になると考えられ、ナイフ刃による突切りを試験した。刃先角が 45° 、 30° と鋭角になるほど、また、とり代を小さくするほど、分離面の性状および形状が良くなり、塗装表面のワレは小さくなったがなくならなかった。

結局、塗装膜の損傷なくせん断できたのは傾斜せん断の一例だけであり、未塗装材で加工→塗装の手順を要することになる。

4.2 未塗装材の場合

試料bによりアルミニウム材の位置を変更したところ、当然のことながら、下層にするほどちぎれおよび破断面とも減少した。

5. 平板からの成形

(1) 曲げ

試料aは湿潤状態でも、曲げ半径 $r = 87.5\text{mm}$ で平ゴムダイスに押し込みうる深さは13mmで、除荷により殆どはね戻りした。試料b3は $r = 32\text{mm}$ で破損した。アルミニウム材を銘木のすぐ下とした試料b1は、 $r = 20\text{mm}$ が曲げ可能で、それ以下では木材間が分離した。

(2) 成形

試料b1はゴムダイスにより、ポンチ径50mm、肩半径15mm

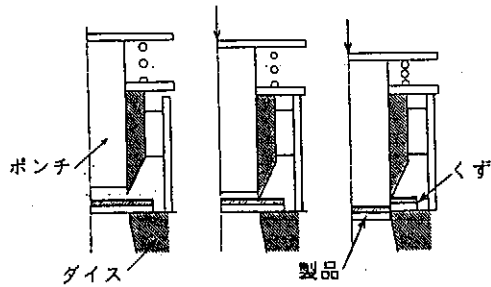


図9 両面からのせん断

で深さ5mmの張出しが可能であった。湿潤状態で一層容易であった。

6. 樹脂補強材の場合

試料cは、補強と同時に成形でき、せん断加工が検討の対象となる。樹脂が行程終期に分離する条件では破断面となり汚くなり、これを避けて逆方向にすれば、表端面が破断面となりよくない。

7. 両面からのせん断

未塗装材で凸状製品の成形可能なものはアルミニウム材が表面に近いものであり、これはせん断においてちぎれが大となり良くない。そこで、傾斜せん断において試験的に、まず鋭角の刃先でアルミニウム板の前まで切り込み、つぎに裏返してせん断したところちぎれない分離面がえられた。これを一工程で行うため、垂直せん断につき図9に示す両面からのせん断法を試した。結果は、製品部に逆押さえを必要とするようであった。また、こすりあげを避ける工夫が必要である。なお、この方法で樹脂補強材にも適合する。

8. まとめ

垂直せん断（穴あけ、直線）

- (1) 工具面に接触しない塗装膜にワレが発生する。したがって、表方向（表面をポンチ側）では刃先形状、押え方によらず不良となる。裏方向（表面をダイス側）では表面層が破断分離面となるため表面にいくらかのヒビ割れを伴う。その程度は、穴あけの方が少ない。

シェービングも塗装面をダイス側にしなければならず、僅かなヒビ割れが伴う。

- (2) 未塗装材に穴あけ後塗装しシェービングする場合は、塗装両面からの方がよく、上記のヒビ割れもなく、よい面がえられる。

傾斜せん断（直線）

- (3) 表方向で、刃先角が鋭角になるほど良好な表面がえられる。しかし、下層は引きちぎれにより分離し形状不良となる。よって、裏方向では塗装膜が損傷する。

上記の形状不良は取り代を小とし再加工およびシヤ角をつけることにより減少する。また、アルミニウム層を下方にするほど減少する。

- (4) アルミニウム層が表層に近ければ、平板から軽度の成形が可能である。

9. 結言

- (1) 化粧面保護に硬質塗装した合わせ板の平板からの成形およびせん断加工は困難であり、未塗装で加工して塗装することを要する。
- (2) 未塗装材の0.7mmまでの薄板は、曲げの最小半径が木目方向で15、垂直方向で0.25であった。また、絞り比1.6の深絞りが可能であったが、肩部で木目方向に張力を受ける部分が損傷した。
- (3) 3mmに近い厚板は傾斜せん断でアルミニウム板より下層がひきちぎれ、アルミニウム板の位置を下げれば小となった。逆に、アルミニウム板が表層に近ければ軽度の成形が可能であり、両面からのせん断が望ましい。
- (4) 水分をつけて加工すると、曲げおよび成形の損傷防止に有効である。

はね戻りで製品とくすが結合しやすいため、せん断後のくずと製品を同一平面にしない工具設定が必要である。

- (5) 樹脂補強材のせん断加工は、両面からのせん断が望ましい。

謝辞

本実験を担当した長谷川吉広、塩津紀男、河住清、片岡克之、赤羽宣彦卒業生および試料を提供して頂いたヤマハ(株)関係諸氏にお礼申し上げます。

B. Al-Mg合金板の深絞りにおける壁部割れについて

1. 目的

鋼板製の段付円筒製品をそのまま引張強さが同等の5000系アルミニウム合金に代えようとしたところ、段部にき裂、壁部にヒビ割れが生じた(図10)。不良発生条件を明らかにし、対策を検討する。

2. 関連実験試料の整理

2.1 同種材料の円筒絞り性および再絞り性表3より、開発材はいずれも、JIS材より良く、SPCCより悪いこと、および開発材間にも差異あることが分かる。なお、A社では $t_0 < 1\text{mm}$ で壁部破断の事例なく、加工業者はA社のMg3.5%材に壁部破断の事例なしとのことである。

これより、(1) 材質の影響として、表示のMg以外の合金成分の相違。(2) 板厚の影響として、板厚による(a) 材質の違い、(b) 相対工具寸法(特に r_d/t)の違いが考えられる。

2.2 含有Mg量の影響

表4より、Mn量の多いものが悪くなっている。ミクロ組織観察で、ヒビ割れは、工程につれ結晶粒が引き延ばされ、

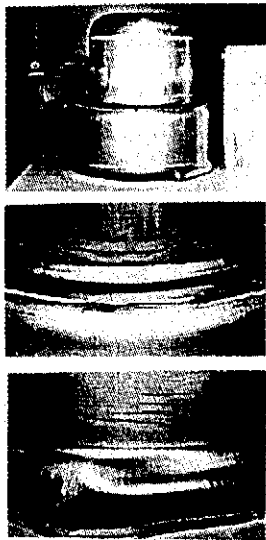


図10 試作品性状

表3 Mg4.5%のJIS5083およびA, B, C社の開発材とSPCCの比較

| 試料 | 絞り比 | 絞り結果 | | | 合金成分% | | | |
|---------|-----|------|-----|-----|-------|------|------|------|
| | | 2.0 | 2.5 | 3.0 | Mn | Cu | Fe | Si |
| JIS5083 | | △ ▲ | | | 0.7 | | | |
| A社 | | ○ ○ | ○ × | ▲ | | 0.? | | |
| B社 | | | ○ × | | 0.34 | 0.03 | 0.22 | 0.09 |
| C社 | | | ○ × | ⊖ | | 0.2 | | |
| SPCC | | | ○ ○ | | | | | |

初絞り $t_0 = 2.0, r_d = 8$ | 再絞り $B_1 = 2.15$

○ 成功, ⊖ ヒビあり, △ 壁部き裂, ▲ 壁部破断, × 頭部破断

表4 壁部性状に及ぼすMg量の影響 (B社材)

| 試料 Mg % | 初絞り 絞り比 | 再絞り | 段付け 2.67 | 段付け 2.85 | 合金成分% | | | |
|------------|------------|-----|-------------|-------------|-------|------|------|------|
| | | | | | Mn | Cu | Fe | Si |
| 2.4 | | ⊖ | | ⊖ 0.1mm | 0.06 | 0.02 | 0.26 | 0.08 |
| 2.7 | | ⊖ | | ⊖ " | 0.7 | 0.04 | 0.17 | 0.07 |
| 2.92 | | | ⊖ | ⊖ 微細 | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.04 |
| 3.24 | | | ⊖ | ⊖ 0.1 | 0 | 0.00 | 0.03 | 0.04 |
| 4.56 | | ▲ | | ↓ | 0.34 | 0.03 | 0.22 | 0.09 |

段角部

表5 板厚の影響-初絞り比2.15より再絞り

| 試料 板厚 | 焼鈍 | 製造 | 総絞り比 | |
|----------|-------|----|------|-------|
| | | | 2.5 | 3.0 |
| A社2.0 | 連続 | 量産 | | ○ ▲ |
| 2.6 | BATCH | 試験 | ○ | ○ ▲ |
| 3.2 | BATCH | 試験 | ○ ○ | ○ ▲ |
| B社2.0 | 連続 | 量産 | | ○ ○ × |
| 2.0 | BATCH | 試験 | ○ | ○ ○ |
| 2.6 | BATCH | 試験 | ○ | ○ ▲ |
| 3.2 | BATCH | 試験 | ○ | ○ ▲ |

板厚方向の変形帯が明瞭となり表面品質に影響した結果とみなされている。

なお、工具は予備実験で得た再絞り比をもとに設計した直したが、 r_d は先と同じである。

2.3 結晶粒度の影響

JIS5052につき粒径313~29、JIS5454につき54~34と調整したが、硬度が揃わず、目的に達しなかった。Mn量が0.06 < 0.71の前者が良かった。

2.4 板厚の影響

表5より、A社材で、2.0がやや良いが、板厚によらず $r_d = 8$ のためとも考えられる。B社材で、同一母材によるBATCH材に差はなく、同じ板厚の量産材が良い(頭部破断)ことから、焼鈍条件の影響が考えられる。連続焼鈍は昇温速度が速く、組織が細かく一様化するとされている。

2.5 まとめ

材料製造については埒外であり、ふれない。板厚によらずダイス肩半径が同じこと、また、段部のき裂は工程設計の不備も考えられ、再絞りは保留する。壁部のヒビ割れについて検討する。

3. 実験結果

3.1 供試材

A社Mg4.5%材の機械的性質

| 板厚 | 引張強さMPa | 耐力MPa | 伸び% | n値 | r値 |
|-----|---------|-------|------|-------|-------|
| 1.0 | 282 | 128 | 28.3 | 0.306 | 0.713 |
| 2.0 | 289 | 146 | 29.0 | 0.313 | 0.714 |
| 2.6 | 282 | 138 | 27.9 | 0.315 | 0.707 |

3.2 絞りの限界および表面性状

図11に示す各種条件の深絞り結果から、ヒビ割れは(1) r_d/t_0 が小の方が、または板厚が厚い方が現れやすく、絞り比にあまり関係せず、発生位置は端部から一定位置に近い。(2) 温間加工用工具では発生していない。顕微鏡観察から(3) 板面に45°の直線状をなしており、粒内を貫通しているといえる。

3.3 接着法による検討

上記(1)の検討法の一つとして、1.0mmの板2枚を接着して2mmとし、 $r_d = 4$ で深絞りしたところ、ヒビ割れなしであった。ただし、内材が1.5mm深くなるズレがでた。表面積から計算すれば内材が5.9mm深くなり、重ねただけで絞れば外材が深くなってしわを発生することからみて、接着材のズレは大きくないが結論はだせない。

3.4 ヒビ割れ発生ひずみ

引張りを加えた試片または $r_d = 20$ mmの途中絞り品から切りだした試片に各種ひずみを付加した場合のヒビ割れの有無を表6に示す。押曲げとは、ダイス肩より8mmつきだした端部を図13のようにポンチで押曲げ、それを8mmつきだし

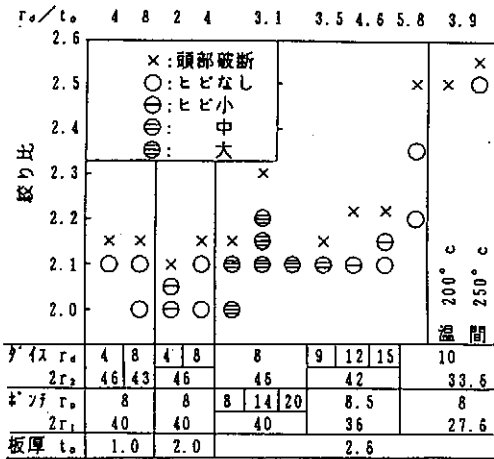


図11 板厚および工具寸法による絞り限界とヒビ割れ

表6 予ひずみ+付加ひずみとヒビ割れ ($t_0 = 2.6$)

| 予ひずみ 引張 | 絞り | 付加ひずみ | | | | | ヒビ割れ | |
|------------|------|-------|------|-------|------|------|------|----|
| | | 引張 | 幅圧縮 | r_d | 曲げ | U曲 | | 押曲 |
| 0.18 | 0.44 | なし | 0.50 | 8 | 0.13 | 0.26 | 無 | |
| | 0.44 | | | | | | 無 | |
| | 0.44 | | | | | | 無 | |
| 0.18 | 0.44 | なし | 0.50 | 8 | 0.26 | 0.44 | 無 | |
| | | | | | | | 0.44 | 無 |
| | | | | | | | 0.44 | 無 |
| 0.18 | 0.44 | なし | 0.50 | 8 | 0.26 | 0.44 | 有 | |
| | | | | | | | 0.44 | 有 |
| | | | | | | | 0.44 | 有 |
| 0.18 | 0.26 | なし | 0.50 | 8 | 0.26 | 0.29 | 無 | |
| | | | | | | | 0.26 | 無 |
| | | | | | | | 0.26 | 無 |

数値は相当ひずみ

てポンチとダイス間で曲げ戻す方法であり、この場合のみヒビ割れが発生した。

なお、 $r_d = 8$ の絞りでヒビ割れが発生するが、15では発生せず、これより切り出して $r_d = 8$ のU曲げを付加してもヒビ割れが発生していない。

3.4 押曲げ曲げ戻し

図12の素板を絞ったカップ壁から切りだした試片を、

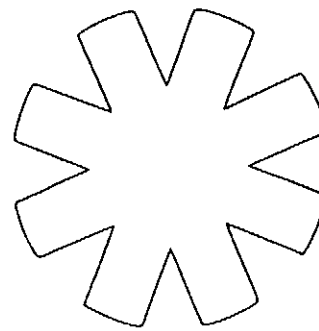


図12 切欠素板

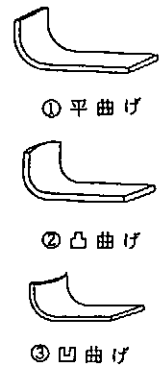


図13 押曲げ形状

図13の形に押曲げ曲げ戻しをした。平に比べ凸、凹の順に、また、幅の広い方がヒビ割れが発生しやすかった。

4. 結言

平面ひずみ状態に近い曲げで発生しやすいようであるが結論は得られなかった。

謝辞

本実験を担当した加藤大輔、久玉直樹卒研究生ならびに資料および試料を提供して頂いたマルヤス工業(株)関係諸氏にお礼申し上げます。

3. 発表論文

- (1) M. Hiraiwa, T. Nakamura, S. Tanaka : Proc. of 4th ICTP, 3 (1993), 1822.
- (2) 平岩正至、中村保：塑性加工春期講演会、(1994-5), 57.

4. 謝 辞

本研究は(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究助成により行なわれた。関係各位に深く感謝の意を表します。