

アモルファス合金箔の打抜き

Blanking of Amorphous Alloy Metal Foils

中 川 威 雄*・鈴 木 清*・坂 上 啓 二*

Takeo NAKAGAWA, Kiyoshi SUZUKI and Keiji SAKAUE

1. は じ め に

アモルファス合金箔は、磁気特性、耐摩耗性、耐蝕性等に優れているため、種々の分野への適用が検討され、すでに小型トランスのコア、磁気ヘッド等として実用化がなされている。これらに使われている異形輪隙形状箔の切断は、エッチング法によりなされているが、耐蝕性が高いため生産性は低く、排液処理、適用材質の限定等の問題があり、プレス打抜き加工への転換が望まれている。しかしながら、アモルファス合金箔は製造可能な板厚がせいぜい数十 μm 程度と極めて薄いことに加え、高引張り強度で伸びがほとんどないため、プレス加工の適用が極めて困難な材料とされている。

本報告はアモルファス合金箔部品の生産にプレス打抜き加工を適用すべく、抜き型精度や打抜き条件が抜き性状に及ぼす影響を調査したものである。その結果、適切な加工条件を選択すれば打抜き可能であるとの結論を得た。

2. 打抜き実験に用いたアモルファス合金箔

供試アモルファス合金箔として、Fe基の軟磁性材料の中から板厚と組成の異なる3種を選定した。表1に供試材の合金成分と特性を示すが、2826MB ($t=40\mu\text{m}$)はFe-Ni系、2605SC ($t=30\mu\text{m}$)はFe-B系、2605CO ($t=25\mu\text{m}$)はFe-Co系であり、これらは主として各種トランス材料等に用いられる。¹⁾このなかでも、2605SC材はとくに脆く、ロールとの接触面を外側にして密着曲げを行うと容易に分断した。

表1 供試アモルファス合金箔の特性

品 名	組 成 (at%)	板 厚 (μm)	引張強度 (kg/mm^2)	硬 さ (GPa)	結晶化温度 ($^{\circ}\text{C}$)
2826MB	Fe40 Ni38 Mo4 B 18	40 (50)	141	10.5	410
2605SC	Fe81 B13.5 Si3.5 C 2	30 (38)	71	10.3	480
2605CO	Fe67 Co18 B14 Si1	25 (38)	153	10.0	430

試料：アライドケミカル社 Metglas, () 内カタログ値

3. 打抜き予備実験で認められた欠陥

図1に示すファインブランキング型(平板押え)により3種のアモルファス合金箔を打抜き、その抜き性状を調べたところ、以下のようなアモルファス合金箔特有の打抜き欠陥が認められた。

- a) 巨大かえり(図2(a), Δ):被加工材板厚の1~数倍程度またはそれ以上の高さを持つかえりで、その厚さはほぼ板厚に一致している。
- b) 輪郭の欠落(図2(b), \bullet):打抜き輪郭の一部がせん断されず、引きちぎられたもの。
- c) き裂(図2(c), \oplus):せん断線または打抜き輪郭内に生じるき裂。
- d) 分離不良(図2(d), \otimes):輪郭が部分的にしかせん断されないか、もしくは全くせん断されずに材料がダイス内に引き込まれたもの。

これらの欠陥の発生原因は、いずれも被加工材が高硬度で、脆性材料であることや、板厚が極端に薄い($t=25\sim40\mu\text{m}$)ため、相対クリアランスや、相対切刃丸味半径が過大となり生じたものと考えられる。この欠陥発生とせん断条件との関係を前図1に示したファインブランキング型($cl=0.01\text{mm}$, 平板押え: $H=0\sim10\text{ton}$, 逆押え: $R=400\text{kg}$, 刃角丸味 $\leq 0.01\text{mm}$)を用いて調べた。結果を表2に示すが、板厚が厚いほど、また、穴明けよ

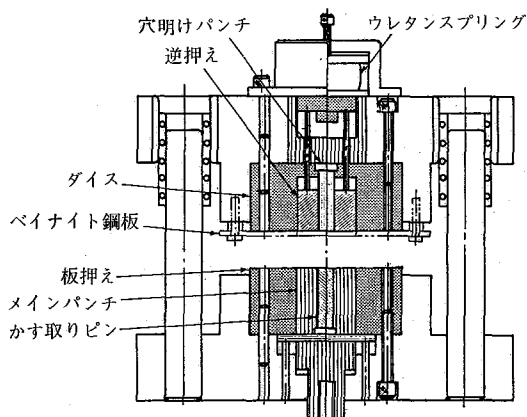


図1 アモルファス合金箔打抜き用試験型

* 東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

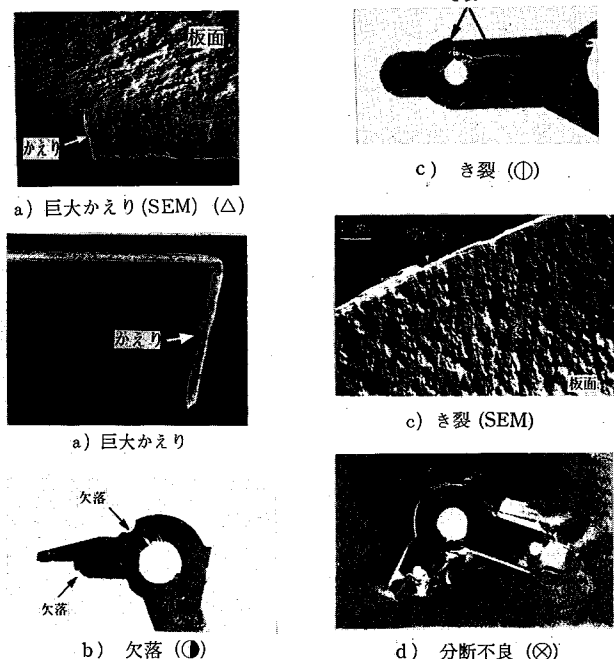


図2 アモルファス合金箔の打抜き欠陥例

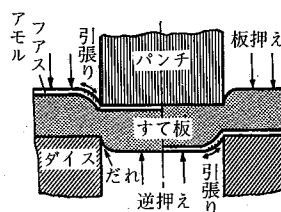


図3 他材料との重ね抜き法

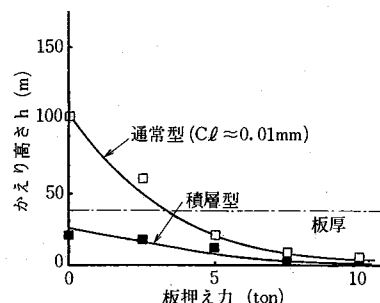
図4 ファインブランキング型による板押え力とかえり高さの関係(2826 MB材, $t=40\mu\text{m}$)

表2 アモルファス合金箔の打抜き欠陥と拘束条件の関係

打抜き条件	2826MB ($40\mu\text{m}$ t)		2605SC ($30\mu\text{m}$ t)		2605CO ($25\mu\text{m}$ t)	
	外形抜き	穴明け	外形抜き	穴明け	外形抜き	穴明け
拘束なし	△	△	△ ●	△ ●	⊗	⊗
	巨大かえり	巨大かえり	巨大かえり 欠 落	巨大かえり 亀 裂	分離不良	分離不良
逆押え	△	△	△	● ①	⊗	⊗
	巨大かえり	巨大かえり	巨大かえり (一部)	欠 落 亀 裂	分離不良	分離不良
板押え	○	△	● ① △	△	● ① △	⊗
	かえり	巨大かえり	欠落・亀裂 巨大かえり (一部)	巨大かえり (一部)	欠 落 亀 裂 巨大かえり	分離不良
板押え + 逆押え	○	○	○	△	△	△
	かえり	かえり	かえり	巨大かえり	巨大かえり	巨大かえり

板押え力: 10ton, 逆押え力: 400kg

りも外形抜きの方が, 材料拘束による効果が顕著に認められた。外形抜きに着目すると, 2826MB材 ($t=40\mu\text{m}$) では板押えのみで, 2605SC材 ($t=30\mu\text{m}$) では板押えと逆押えを付加することにより, 顕著な欠陥は取り除かれたが, 板厚の一番薄い2605CO材 ($t=25\mu\text{m}$) では, 欠陥が残存している。また, 2605SC材に発生したき裂は, 主として材料の脆弱さによるものである。

4. 零クリアランス型による打抜き実験

予備実験の結果から, 材料拘束の効果は十分認められるが, 被加工材板厚が薄くなるに従い, 相対クリアラン

表3 重ね抜き実験結果 (2605CO材)

条 件	外形抜き	穴明け
試料上にt0.8軟鋼板を積層	×	○
t0.8軟鋼板上に試料を積層	○	△
2枚のt0.8軟鋼板の間に試料を積層	△	△
試料上にt0.2ベイナイト鋼板を積層	×	△
t0.2ベイナイト鋼板上に試料を積層	○	○
t1.0塩化ビニル上に試料を積層	△	×

○: 良 △: 可 ×: 不可

表 4 ベイナイト鋼板積層抜き型による打抜き欠陥と拘束条件の関係

打抜き条件	2826MB (40 μm t)		2605 SC (30 μm t)		2605 CO (25 μm t)	
	外形抜き	穴明け	外形抜き	穴明け	外形抜き	穴明け
逆押え	Δ	Δ	Δ	● Δ	Δ	● ①
	巨大かえり (一部)	巨大かえり	巨大かえり	欠 落 巨大かえり	巨大かえり	欠 落 亀 裂
板押え	○	Δ	①	Δ	Δ ①	⊗
	かえり	巨大かえり (一部)	亀 裂 かえり	巨大かえり (一部)	巨大かえり (一部) 亀裂	分離不良
板押え + 逆押え	○	○	○	○	○	○
					かえり	かえり

板押え力：10ton，逆押え力：400kg

スが過大となるため，欠陥の除去は困難となった．通常の打抜きの場合，最適クリアランスは板厚の7～8%と言われており，これを供試アモルファス合金に適用すれば2～3 μm のクリアランスとなる．実際には，このような微小クリアランスを正確に設定することは不可能であるため，これに近い条件，すなわち，クリアランスがほぼ零となる方法での打抜きを試みた．

4.1 重ね抜き法

被加工材と切刃との拘束を高め，かつ，零クリアランスと類似の効果が期待できる重ね抜き法を試みた．図3にその方法を示すが，すて板を被加工材の下部に配すると外形抜きで，上部に配すると穴明けで，また，いずれの場合もすて板の硬度が高く，だれの生じにくい材料程良好な結果が得られている(表3)．しかし，切口面は必ずしも良好でなく，すて板用材料も不可欠となる．

4.2 ベイナイト鋼板積層抜き型²⁾

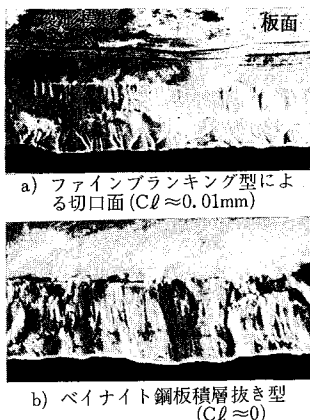
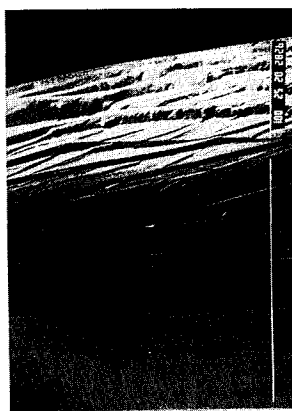
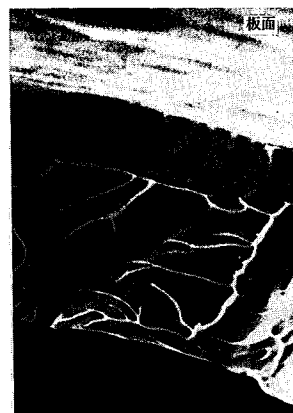
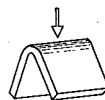


図 6 ファインブランキング型によるアモルファス合金箔の切口面性状 (2826MB, $t=40\mu\text{m}$)



(a) 密着曲げ部に発生した変形模様 (2826MB, $t=40\mu\text{m}$)



(b) 引張り試験片の破断部に発生した脈状組織 (2826MB, $t=40\mu\text{m}$)

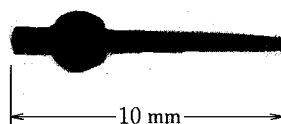


図 5 時計部品打抜き用零クリアランス型によるアモルファス打抜き品

供試打抜き型のダイス上に積層した0.2mmt ベイナイト鋼板をパンチで打ち抜くことによりクリアランスをほぼ零とした積層型による打抜き結果を表4に示すが，相対クリアランスを小さくした効果が著しく，板押えと逆押えを付加した場合には板厚によらず，内外形抜きとも良好な結果が得られた．図4は打抜き品かえり高さの抑制に及ぼす板押え力の影響を示すが，ベイナイト鋼板積層型ではかえり高さをより減少できている．

4.3 極薄金属打抜き用零クリアランス型

一連の打抜き実験より，クリアランスを厳密に零とし，刃先丸味を極力小さくすれば，良好な打抜き品が得られ

研 究 速 報

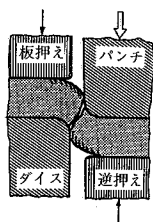
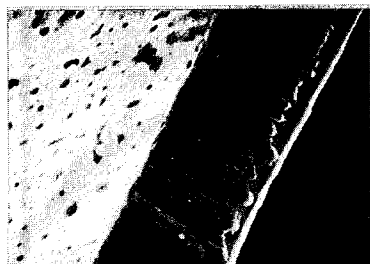
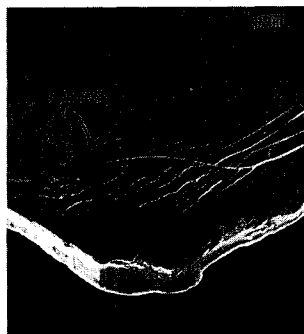


図8 相対クリアランスが大き過ぎる型による打抜き状態

部および凹部は通常の金属板のせん断面と同様な平滑な切口面を呈しているが、凸部では引張り応力状態となるため、板面に変形模様が生じ、板内側にえぐられた切口面には部分的にはあるが脈状組織が認められた。また、余剰材料が流入する凹部には輪郭縁に直角方向に変形模様が現れている。なお、参考のためにハサミによる切断を行ったところ、零クリアランス型と同様の良好な切口面性状を呈した。これは、ハサミによる切断では零クリ



(a) 直線輪郭部 (2605CO 材)



(b) 凸輪郭部 (2826MB 材)



(c) 凹輪郭部拡大 (2826MB 材)

図9 零クリアランス抜き型によるアモルファス合金箔の切口面性状

るとの見通しを得た。そこで、ほぼ完全な零クリアランスが得られると言われる時計部品用抜き落し型（ダイ：超硬，パンチ：SKS3，Hv-700~720，コイルパネによる可動ストリップ）により打抜きを行った。図5に得られた打抜き品の外観を示すが、すべてのアモルファス合金箔を良好に打ち抜くことができた。

5. 製品切口面の観察

種々の方法で打ち抜かれた供試アモルファス合金箔の切口をSEMにより観察した。ファインブランキング型による切口面を図6(a)に示すが、引張り応力状態となるせん断縁近傍の板面には、せん断縁と平行な直線状の変形模様(Deformation marking)が生じており、また、せん断切口面には脈状(vein)組織が現れている。同じ材料の曲げおよび引張り試験を行った結果、曲げ変形部引張り応力側に、曲げ線と平行に変形模様が、また、引張り試験片の破断面に脈状組織が観察された^{3),4)}(図7)。これらの現象の存在に加え、相対クリアランスや相対切削刃丸味が大きいことを考慮すると、ファインブランキング型では図8のごとく引張り破断に近い状態で材料の分離が行われていると考えてよい。

図6(b)はペイナイト鋼板積層抜き型によるもので変形模様や脈状組織は消滅している。図9に時計部品打抜き用零クリアランス型による各輪郭の切口面を示す。直線

ランスが得やすいことに加え、シャ角や前傾斜角の効果が付加されたためと考えられる。

6. おわりに

アモルファス合金箔の打抜き実験で見られた特異な欠陥は概してクリアランスの過大が原因であり、クリアランスを零とし、板押えや逆押えにより材料を拘束し、引張りや曲げ応力を極力抑制すれば、各種欠陥を除去でき、せん断変形による良好な切口面が得られることが明らかとなった。しかしながら、被加工材の硬度が高く、型摩耗が促進されやすいため、相対クリアランスが急速に増加することも考えられ、それに対応して切口面性状が悪化することも予想される。型寿命については今後の検討課題としたい。

おわりに、本研究にご協力いただいたブラザー工業(株)、松本精機(株)、およびアイシン精機(株)の各社に厚くお礼申し上げます。(1982年4月5日受理)

参 考 文 献

- 1) アライドケミカル社, METGLAS カタログ
- 2) 中川ほか: 塑性と加工, Vol. 21, No. 235 (1980.8) 712-717
- 3) 増本ほか: 日本金属学会誌, Vol. 39, No. 2 (1975.2) 133-141
- 4) 増本: 日本金属学会会報, Vol. 15, No. 3 (1976) 194-202