

エンボスフィティング成形接合法

工学院大学 機械システム工学科
 助教授 一之瀬和夫
 (平成7年度研究開発助成 AF-95025)

キーワード：構造締結，薄板の接合，成形接合

1. 研究の目的と背景

金属薄板の重ね締結は，生産過程における組立技術の一つとして主要な位置を占めている^{1), 2)}。なかでも，双方の部材を塑性変形によって加締める成形接合^{3) - 10)}では多くの方法が研究され，溶着あるいは第三部材による結合などに替わる技術として実用化されてきた。これらに関する特許¹¹⁾も多くみられる。

局部溶着法による接合などと比較したとき，これらの成形接合は次のような特長を有する。

- 1) 被締結材が熱影響を受けない
- 2) 塗装皮膜の劣化が少なく，接合部の耐久性も良好
- 3) 異種材でも結合助材が不要
- 4) 解結性に優れリサイクル性がよい

いっぽう，上記4)の逆効果として，スポット溶接などに比べて締結強度は低いという短所がある。

対環境性能の向上を目的として，プリコート鋼板(PCM)の使用量も増加し，家電品あるいは車両内装材には成形接合技術が積極的に導入されている^{5), 12)}。また，成形接合による塗装皮膜の塩水中暴露の耐久性も保証されることが示されている¹³⁾。

本研究では，まず，新たに考案した板材成形接合のための工具とその作動原理を示す。つぎに，板材の材料特性と工程が接合に至るまでの変形と接合体強度におよぼす影響を実験により考察し，接合設計の基本的

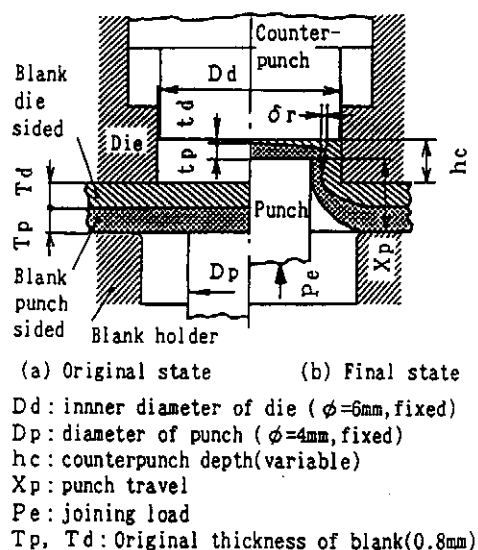


Fig. 1 Plain die method (Type P).

な資料を提供する。

研究結果の概要では大きく分けて次の内容を示した。
 [I] 同一厚さの板材を対象とした接合強度の向上法。
 [II] 両者の板厚の差が比較的大きい場合，打抜きと張出しの二つの工程からなる接合原理の開発。

2. 結果の概要

[I] 同一厚さの板材接合における接合強度の向上法
 I.1 実験装置，実験方法および供試材

成形接合の工具と作動をFig. 1, 2, およびFig. 3に示す。円形パンチおよびダイの肩には半径部を設けない形状とした。次にこれらの要点を示す。

1) 単純な工具の組合せによる接合 (Fig. 1, Type P):

円形パンチと円形ダイにより，両板材をダイ側へ押出したあと，パンチとカウンターパンチで両板材を加圧してパンチ側板材をダイ側板材の内側へ張出す。前実験はそれぞれの板厚 0.8mm に対して，Dp4mm, Dd6mm の工具寸法による接合がよい結果を与えていた。張出された変形部の量 δr とそれに隣接するパンチ側材料

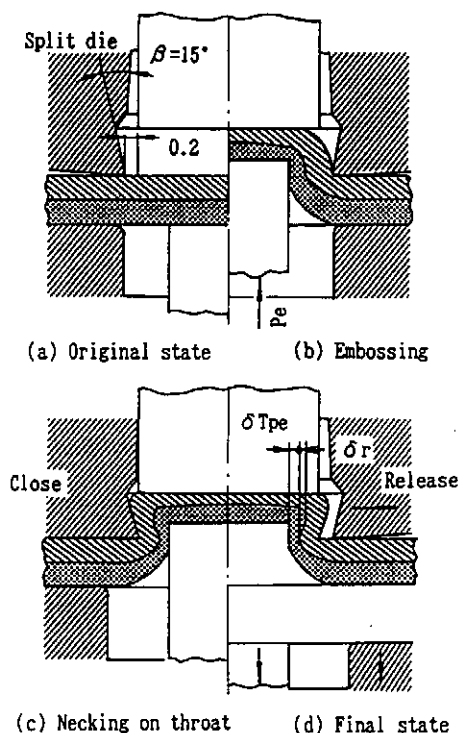


Fig. 2 Split die method (Type S).

の最小肉厚が接合の成否と接合後の強度を左右する。

2) 溝付き割りダイによる接合 (Fig. 2, Type S):

三つ割りコレットチャックの入口部にバックテーパを設けてダイとした。ダイを閉じたまま板材を張出し、終期に半径方向へ閉じて δr の増大を図る。この際、ダイ側材料が三つ割りの空隙部へはみ出す量を少なくすることも重要である。Type S によれば Type P より工程終期のパンチ荷重 Pe を小さくすることができる。

3) 溝付き割りダイと液圧による接合 (Fig. 3, Type F):

ダイを閉じたまま板材を張出し、工程終期に液圧 pf を負荷する。Type P と Type S で δr を増すには大きな Pe を必要とするが、Type F により Pe を低減できる。

Fig. 4 (a), (b) には Type S と Type F で用いたダイを示す。同図 (c) は Type S のダイ溝部への材料入り込み (burr) を示したもので、最大でもこの大きさは (D:A1100, P:SPCE) 0.2mm 程度であった。

供試材は Table 1 の圧延材で、主として A1100 と SPCE を用いた。板材配置では、ダイ側材料に D: をパンチ側のそれには P: を冠し、D:A1100, P:SPCE などと表記する。

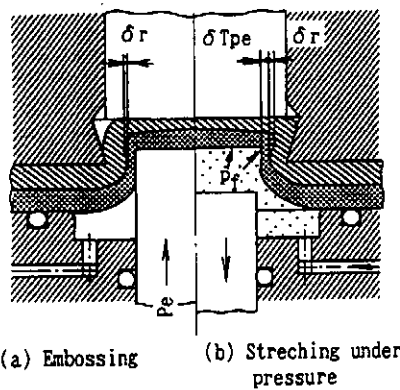


Fig. 3 Fluid-pressurized method (Type F).

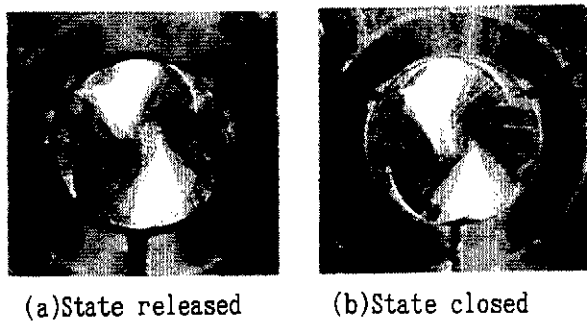


Fig. 4 Die face (Type S and F) and burr of final state.

I. 2 実験結果および考察

接合条件を詳しく調べるため、Type P により D:A1100, P:SPCE の組合せで、パンチ押込み量 Xp による Pe の変化と、パンチ側板材の破断、および接合に至るまでの変形を Fig. 5 と Fig. 6 により把握した。ダイ面からカウンターパンチまでの寸法 hc を同一に設定した場合

Table 1 Mechanical properties of blanks used ($\sigma_{eq} = C \epsilon_{eq}^n$, σ_B : Tensile strength)

Articles	Tensile direction	n value	C value (MPa)	σ_B (MPa)
A1100	R.D.	0.10	350	120
	C.D.	0.06	250	130
C2600	R.D.	0.44	1240	300
	C.D.	0.44	1220	310
SPCE	R.D.	0.22	1120	325
	C.D.	0.19	1090	330

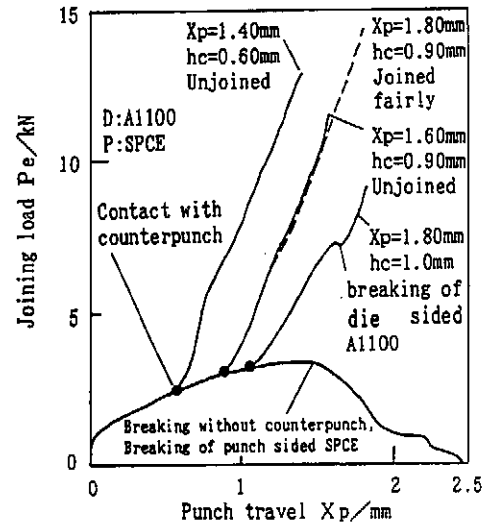


Fig. 5 Joining possibility affected by condition of counterpunch depth hc (Type P).

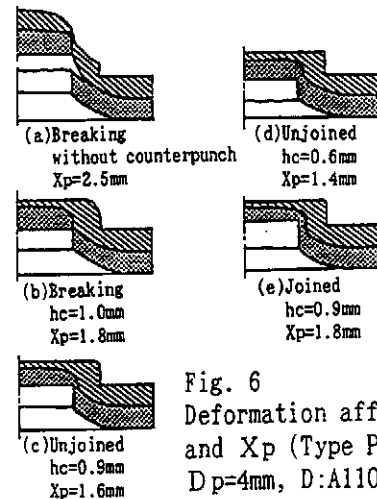


Fig. 6 Deformation affected by hc and Xp (Type P, $Dd=6mm$, $Dp=4mm$, D:A1100, P:SPCE).

($hc=0.9\text{mm}$), X_p を 1.6mm から 1.8mm まで大きくすれば、ダイ側材料を半径方向に張出して接合可能となる。

これらをもとに、Type S によるダイ閉じ [Fig.2(c)] までの X_p と、Type F によるpfの負荷開始 [Fig.3(a)] 直前の X_p を決定した。

Fig. 7は Type F による所要液圧の推移を示したものである。これによるpfの最大値は大きくみても 200M Pa 程度であるので、Type P でのパンチ面に作用する面圧のおよそ $1/5$ 程度で接合できる。このことはパンチおよびカウンターパンチの寿命を向上させることになる。

これまでの特許および研究報告でも、 δr をできるだけ大きくする努力がなされているが、それでも、パンチおよびカウンターパンチには大きな成形力 P_e が加わり、工具にとってはきわめて過酷な状態である。

接合体の切断面で δr を測定したFig. 8の結果から、Type P に対する Type S とType F の工程効果をみる事ができる。成形接合の強度を向上させるには δr の大きいことが必要である。しかし、ある程度の δr が確保されれば、次に最小肉厚の値 δT_{pe} を大きくする工程が必要になる。

そこで、 δT_{pe} におよぼすType S とType F による効果を見たのがFig. 9である。これによると、同一材質の場合に Type S は δT_{pe} の増大に貢献するが、異種材の場合にはその効果が見られないことがわかった。

また、パンチ側板材の σ_B がダイ側板材のそれより小さい場合には Type S, Type F ともに δT_{pe} への効果は見られない。これは、材料強度の大きさによって δT_{pe} が押し出しの時点で決定されてしまうことを示している。

Type P について接合体をその平面内で引張り、破壊時の最大荷重 W_{se} を示すとFig.10のようである。破壊の様式はFig.11に示すように、パンチ側材の最小肉厚部でせん断破壊して、その底部がダイ側材に残留する(a), (c)の場合と、ダイ側材の噛み合い部が潰されて分離する(b)と(c)の場合がみられた。これらの傾向は Type S と Type F でも同様であった。

三方式の W_{se} を比較したのがFig.12である。パンチ側材の σ_B がダイ側材のそれに比べて小さい場合の(c)

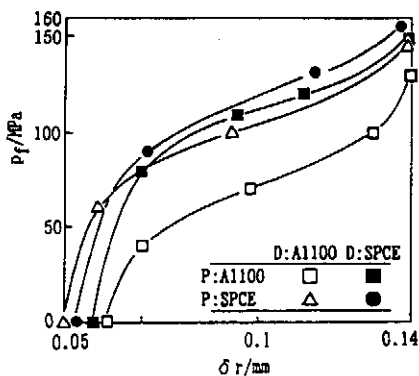


Fig. 7 Stretching on radius by Type F.

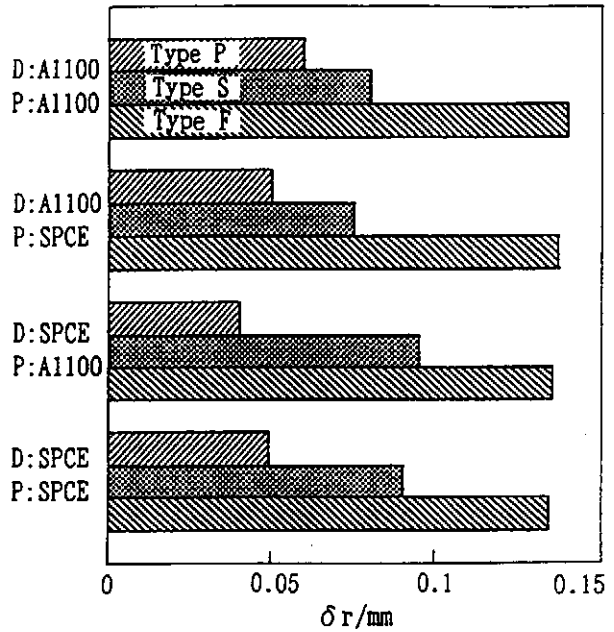


Fig. 8 Comparison of δr .

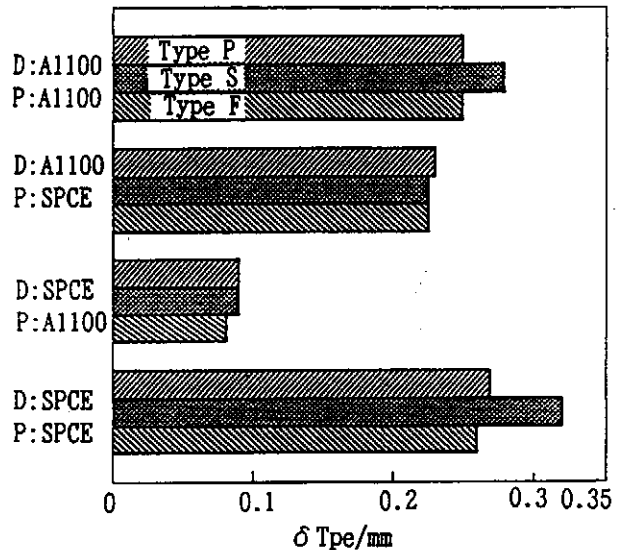


Fig. 9 Comparison of δT_{pe}

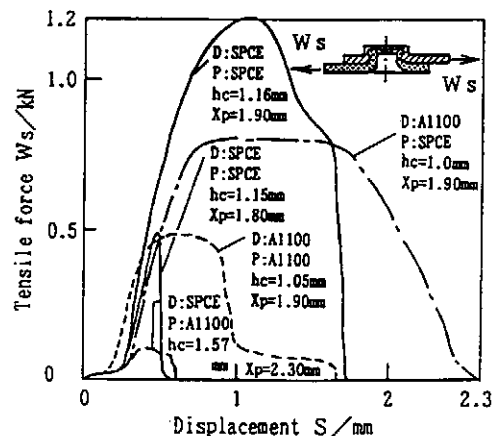


Fig. 10 Tensile force affected by combination of materials.

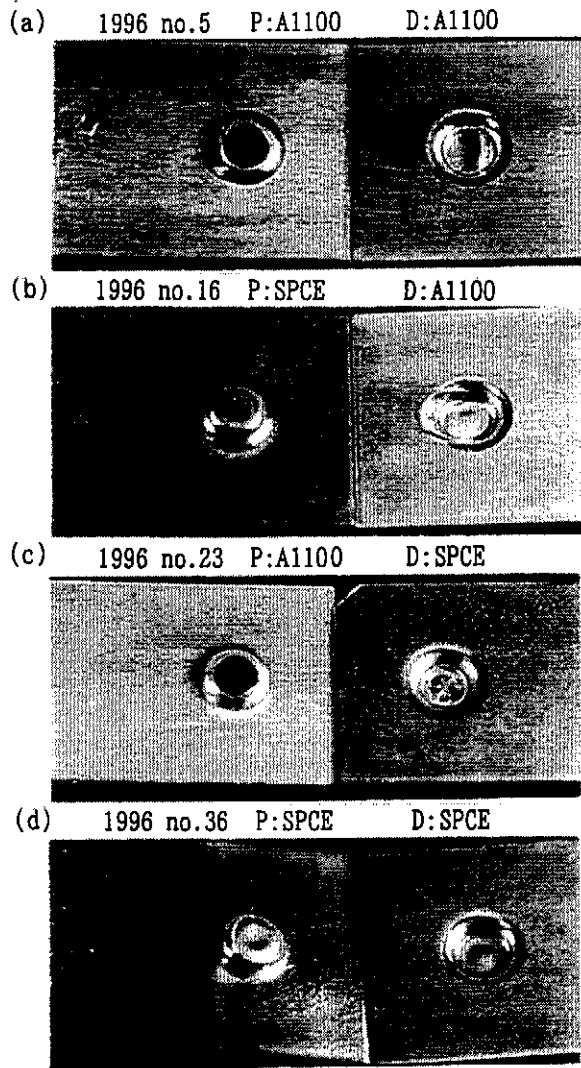


Fig. 11 Fractured blanks under tensile force (Type P).

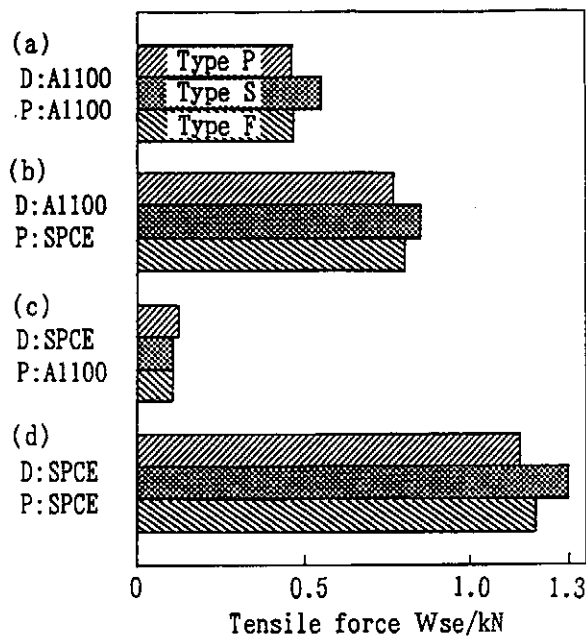


Fig. 12 Comparison of Wse

ではType S, Type F いずれの方式も接合強度の向上に寄与していない。これはFig. 9の結果でも示された。(a), (b), および(c)にはType S の効果がみられるが、Type F の効果は期待できなかった。これは、液圧負荷以前の工程がType P と同一であり、このときに δTpe が増大しなかったためと考えられる。

I.3 まとめ

三方式による成形接合の要約は次のようである。

- (1) パンチ側に強度の低い板材を配置すると、パンチ側壁でせん断された部分の減肉が著しいため接合体の板面内引張強度は低下する。
- (2) 溝付き割りダイによる接合 Type S および、溝付き割りダイと液圧を併用する接合 Type F 方式では Type P によるよりも δr が増加する。
- (3) 同一板材の接合ではType S が δTpe の増加に対して効果があり、接合強度Wseの向上に貢献する。

[II] 両者の板厚差が比較的大きい場合、打抜きと張出しの二工程からなる接合原理の開発

II.1 打抜き張出しによる接合の原理 (BS clinch), 工程設計および実験方法

(1) 原理と工程

ダイ側材料の内縁を覆うまでパンチ側材料を張出して接合するものであり、異種材への継電気用接点接合の方法¹⁴⁾を発展させたものである。これはFig.13によって行われ、あらかじめダイ側材を穴あけする工程と穴あけされた部材と工具の位置合せを必要としない。

1) 第一工程

(a) 初期状態

(b) ダイ側材の打抜きと分離：パンチ側材をダイ側へ押し出し、ダイ側材だけせん断分離する。このとき、パンチ側材はせん断分離してはならない。

2) 第二工程

(c) カウンターパンチを備えた張出し拘束ダイへ移る。パンチは第一工程と同一寸法でもよい。

(d) ダイ側材の内縁への張出し：ダイ側材のせん断内縁を覆うまでパンチ側板材を張出すと接合が完了する。

(2) 実験方法

板材間、および工具と板材間を無潤滑とし、ダイセットへFig.13の構成を組込んで実験した。ダイ側材とカウンターパンチ間の隙間を $hc=0.8\text{mm}$ の一定値とした。

Table 2は板材の材料特性値であり、第I部に供した材料のほかに二種を追加した。これらの板材では丸パンチを用いた打抜きのせん断抵抗と、引張試験による絞り ϕ を求めて接合の可否を左右する指標とした。

II.2 実験結果および考察

(1) 異種材の組合せによる接合の可能性

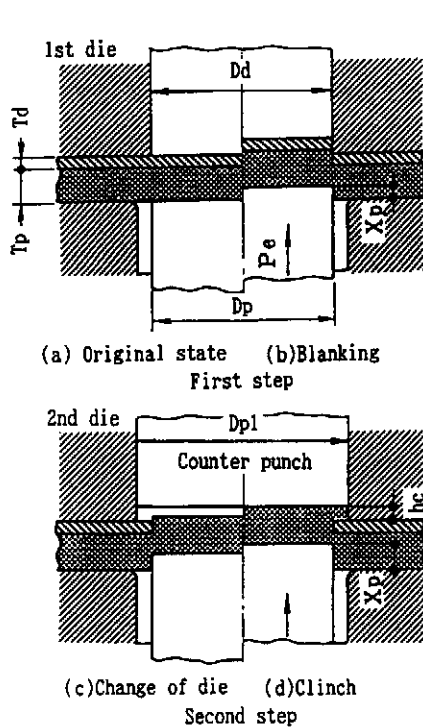


Fig. 13 Joining principle.

Table 2 Mechanical properties of blanks used

Articles (as roll)	Blank thick. /mm	Tensile strength σ_s /MPa	Shearing resistance k_s /MPa (*)	ϕ /%
A1100	0.8	135	72	65
A2017-T3	1.0	401	250	26
A5052-H22	1.6	227	148	70
SPCE	0.8	337	254	41
C2600	0.8	305	243	34

* : Clearance in shearing test: $c/T=3\%$, T: thickness
 ϕ : Contraction percentage of area, $\phi=(1-A/A_0) \times 100\%$, A_0, A : original & final area in tension test

Table 3 Joining possibility (○:joined, △:imperfect joining, ×:unjoined (cracking occurred during 1st step on punch sided blank))

Blank (die sided)	thick. Td/mm	Blank(punch sided)			
		A1100 Tp/mm	A2017-T3 2.0	A5052-H22 2.5	SPCE 2.5
A1100	0.8	○	×	△	△
A2017-T3	1.0	○	×	○	○
SPCE	0.8	○	×	○	○
C2600	0.8	○	×	○	△
SUS304	0.4	○	×	○	○

Tool dimension /mm: $D_p=5.98, D_d=6.5, D_{d1}=7.0, h_c=0.8$
 $c_1/T_p, c_2/T_p$: clearance for 1st and 2nd step,
 $c_1/T_p=7\sim 11\%, c_2/T_p=15\sim 21\%$, where $T_p \equiv T_p + T_d$

実験による接合結果をTable 3に示す。接合の成否とそれを左右する材料特性の組合せは次のようである。

1)パンチ側板材が早期にせん断分離するため接合不可能となる場合 (Table 3で×印)。

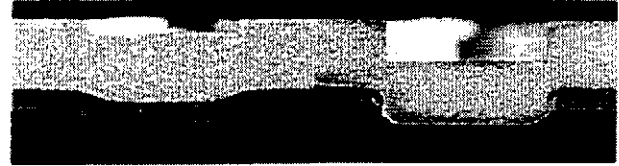
パンチ側に ϕ の値が小さい板材A2017-T3を配置すると、第一工程においてダイ側板材のせん断が終了

Blank(punch sided)
P:A1100 $T_p=2.5$ mm

Blank (die sided)
D:SPCE $T_d=0.8$ mm

① $X_p=0.4$ mm

④ $X_p=1.7$ mm



② $X_p=1.2$ mm

⑤ $X_p=1.9$ mm



③ $X_p=1.4$ mm

⑥ $X_p=2.1$ mm

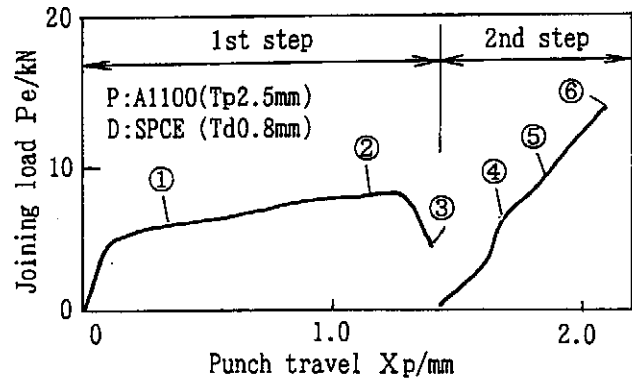
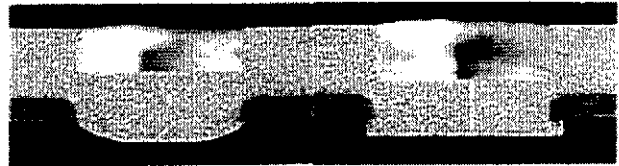


Fig. 14 Joining load P_e affected by punch travel X_p (tool dimension /mm : $D_p=5.95, D_d=6.5, D_{d1}=7.0, c_1/T_p=8\%, c_2/T_p=16\%$).

する以前にパンチ側板材がせん断破壊する。

2)ダイ側板材内縁の拡大による不十分な接合 (△印)。

ダイ側材より変形抵抗が大きい材料をパンチ側へ配置すると、第一、および第二工程でダイ側材の内縁がダイ側材により拡大されるため良好な接合に至らない。また、D:A1100, P:SPCEではダイ側材の内縁が拡大するとともに、burrとなってratchet生成の妨げとなる。

(2) 接合工程の観察

Fig. 14に成形荷重 P_e の変化と変形状況の一例を示す。第一工程の③がダイ側材のせん断終了時であり、ダイ側材の ϕ が小さいほどこのときまでの X_p は小さい。

第二工程では、ダイ側材の変形抵抗がパンチ側材のそれより著しく小さいと④以降から内縁の拡大が始まる。パンチ側材の外縁がダイ側材の内縁を覆った状態の⑥に至って接合は完了する。なお、 h_c の大きさが第二工程の $X_p \sim P_e$ 線図と変形状態におよぼす影響に

いての考察は今後の課題とした。

(3) 接合体の強度評価

接合体の板面内引張と、剥離による強度試験から、材料特性の組合せによる破壊状況を分類してFig.15をえた(板厚と工具諸元/mm:Tp=2.5, Td=0.8, hc=0.8 [(c)の場合は1.0と0.5]; c1/Tpd=8%, c2/Tpd=15%)。これらの破壊と変形様式は次のように分類される。

- 1)破壊と変形の様式: Fig.15によればダイ側材が圧壊する①と、たわみ変形で使用に耐えられなくなる③の場合; および、パンチ側がせん断破壊する②と④のに分けられる。また、(c), (e)に見られるように変形抵抗σBの小さい材料側が破壊する。
- 2)破壊荷重Wseの比較: 一般に(a), (d)に見るように、同一材質の接合では、引張による圧壊強度(a)よりたわみ変形強度(d)が小さい。
- 3)hcを大にすると強度が向上する: (c)のようにhcを2倍にしたところ断破壊強度は約30%向上した。
- 4)材料強度の組合せ: パンチ側材のσBがダイ側のそれより小さいと、(f)のように剥離強度は小さくなる。

II.3 まとめ

板厚差の大きい部材の組合せによる接合を実験で検討した。これらの要約は次のようである。

Tensile shear test	① Crushing	Wse=2.7kN	P:SPCE D:SPCE (a)
		0.97	P:A1100 D:A1100 (b)
Peel shear test	② Shearing	1.8	P:A1100 D:SPCE (c)
		1.3	hc=1.0 hc=0.5
Peel shear test	③ Deflection	1.6	P:SPCE D:SPCE (d)
		0.8	P:SPCE D:A1100 (e)
Peel shear test	④ Shearing	0.18	P:A1100 D:A1100 (f)

Counterpunch depth hc=0.8mm excepting (c)
Wse: Maximum load (kN)

Fig. 15 Tensile shear strength and peel shear strength on joined blanks.

- (1) 本提案の新しい接合工程は有効であることが実験で明らかにされた。
- (2) 良好な接合状態を得るための材料特性の組合せ: パンチ側へ延性が大きな板材を、ダイ側へはパンチ側より変形抵抗の大きい板材を配置する。これにより、第二工程でダイ側材の内縁拡大を少なくできる。
- (3) 接合体の破壊様式: 接合体への面内引張と面に垂直な方向の引張(剥離)負荷に対して、それぞれパンチ側板材のせん断破壊とダイ側板材の変形がある。

3. 結言

板材の成形接合について接合強度向上のための工具と工程を考察した。また、板厚差の大きい接合方法として打抜きと張出しの二工程による接合原理を考案し、接合体の変形様式を考察した。

謝辞

本研究は(財)天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成の援助のもとになされたものであることを記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本塑性加工学会編: 接合—技術の全容と可能性—(1996)コロナ社。
- 2) 町田: 塑性と加工, 34-391(1993), 856.
- 3) J.M.Sawhill, Jr. & S.E.Sawdon: SAE Technical Paper Series, International Congress and Exposition, no.830128(1983).
- 4) H.P.Leibig & R.Beyer: Advanced Technology of Plasticity, II(1987), 933.
- 5) S.J.Muraski: Machine Design, 62-7(1990), 48.
- 6) O.Hahn & L.Budde: Blech Rohre Profile, 37-1(1990), 29.
- 7) L.Budde & W.Lappe: Baender Bleche Rohre, 32-5(1991), 94.
- 8) S.Gao & L.Budde: Int.J. Mach.Tools Manufact., 34-5(1994), 641.
- 9) U.Klasfauseweh & O.Hahn: Blech Rohre Profile, 41-5(1994), 328.
- 10) 春日: 第47回塑加連講論(1996), 487.
- 11) たとえば, 武藤: 公開特許公報(A)公開昭56-114536(1981), 179.
- 12) 山下: 伸びゆく薄鋼板/表面処理鋼板(日本鉄鋼協会第167・168回西山記念技術講座)(1998), 151.
- 13) 本田・野村・西岡・古川: 材料とプロセス, 10-3(1997), 605.
- 14) 春日: 平6塑加春講論(1994), 455.

既発表および発表予定論文

- [1] 一之瀬・丹羽: 平9塑加春講論(1997), 231.
- [2] 徐・一之瀬・小林・丹羽・小久保・春日: 第49回塑加連講論(1998-11月), 発表予定.