せん断加工したタブとスロットを用いた T 継手の締結特性*

河 村 忠 治^{*1}

Fastening Characteristics of the Tee-Joint with Sheared Tab and Slot

Chuji KAWAMURA

To investigate the mechanics of the staking process, the fastening of tee-joint with sheared tab and slot is carried out for different snaps. The staking modes of the joint unions at different press-fitting force are obtained, and results are discussed by using pull-apart force and appearance of the joint. The fastening strength in the staking, is found to be dependent on snap shape, combining materials, length of tab and edge shape of slot hole.

Key Words: Fixing Element, Sheared Tab, Tee-Joint, Staking, Pull-Apart Force

1. 結 言

板金部品の機械的永久接合の分野で、リベットなどの締結要素を用いないファスナフリーと呼ばれる締結法が、経験的接合技術として多用されている⁽¹⁾。しかし、これらの方法に基づく締結特性の学術的な解明は不十分で、著者はこれまでに一連の研究結果^{(2)~(4)}を公表してきた。一般にタブとスロットの組合せで T 継手を作る場合は、タブ先端を折り曲げるかねじることによって完結される。本報はこれらの手法より優れた締結特性が期待される、タブ先端のかしめ加工に着眼し、完成継手の強度や美観に部材質、タブ長さ、かしめ形状などが及ぼす影響を検討したものである。

2. 実 験 方 法

供試素板は板厚 2 mm の A 1100 P-H₂₄、およびこれを完全焼鈍したもので機械的性質は表 1 に示した。T 継手の板取り形状寸法は図 1 のとおりだが、タブ加工する母材側は 2 個取りできる 30×130 mm の短ざく形とした。すなわち、図 2 に示す工具で試験片中央部

の両端に U 形切欠を入れ、その後に所定のタブ長さ $h=3, 3.5, 4$ mm に分断した。タブ長さは締結時の被かしめ材の板厚、座屈の発生などを配慮し決定したものである。また、被かしめ材の長穴あけは、所定の工具をダイセットに組込みクランクプレスで加工した。

継手は原則として同質材を組合せて、材料試験機に取付けた小形精密万力で保持し、締付け力を $P_f=2.9 \sim 9.8$ kN に選びかしめ加工した。この締付け力の下限値は被かしめ材が緩みなく締結できる値、および上限値はスナップが被かしめ材の板面に接触するか、またはタブに座屈が発生する値である。なお、タブ先端のかしめ形状は継手強度に大きく関与するが、実験には基本形状である平形、および図 3 に示した V ノッチ形と網目形の合計 3 種類である。

以上の要領で締結した T 継手は、材料試験機を用いて引張分離力⁽⁵⁾を測定することで継手強度を評価し、また継手の破壊過程に関連する締結部の形状寸法、タブ加圧面などは、万能投影機を用い 10~20 倍で拡大観察した。さらに締結部断面の硬さを必要に応じて測定し締結特性を総合的に検討した。

3. 結 果 お よ び 考 察

3-1 タブの不安定現象 タブを単独で圧縮する

* 昭和 63 年 8 月 26 日 東北支部米沢地方講演会において講演、原稿受付 昭和 63 年 3 月 9 日。

^{*1} 正員、武蔵工業大学 (〒158 東京都世田谷区玉堤 1-28-1)。

と曲がりや座屈を起こすが、図4に平形スナップでの座屈挙動を示した。これより座屈荷重は同一タブ長さなら硬質材ほど、また同質材ならタブが短い場合ほど大きいことがわかる。しかし、タブは組立状態では被かしめ材で拘束されるから、たとえ単独時の座屈荷重を越える圧下がなされても座屈の抑制は可能となる。図5は最も座屈しやすい軟質材を組合せ、タブ長さ $h=4\text{ mm}$ でT継手を作ったときの中央部縦断面の例示である。先のタブ単独における座屈荷重 $P_b=2.38\text{ kN}$ の3倍の締付け力でも座屈は見られない。しかし、約4倍のような高締付け力では、タブに明りょうな座屈があらわれた。したがって、この状態からさらに締付けると、継手の形状不良を招くのみならず強度も低下する。このことより強固な継手製作には、被加工材に適合したタブ長さや締付け力の選択が不可欠ことがわかる。

3.2 継手の締結強度 締結された被かしめ材をタブから分離するときの抵抗力を引張分離力と呼び、この値は継手の保持力に等価である。図6は平形かしの結果であるが、締付け力の増加に伴って引張分離

力も増している。しかし、その増加率は被加工材の調質度やタブの長短で異なっている。一般にタブのかしめが不十分だと、被かしめ材が密着しないばかりか、タブが下穴へ充填しないため継手が不完全になる。図7のようにタブが $h=3\text{ mm}$ と短いときは、締結前の被かしめ材からの突出量が少ないため、締付け力によらずタブ全体が単純な圧縮変形を起こし、大半が強固な締結形状とならない。したがって、継手強度は締結部の接触抵抗にのみ依存し、締付け力の増加に伴う強度増加も緩慢と考えられる。こうした傾向はタブが長

図3 かしめ用スナップの形状寸法 (単位 mm)

表1 供試材の機械的性質

Material	T.S MPa	T.E %	n	HV
A1100P-O	80.4	36.5	0.29	31.2
A1100P-H ₂₄	112.8	17.5	0.17	42.8

T.S: Tensile strength, T.E: Total elongation, n: Work hardening exponent, HV: Vickers hardness.

図1 試験片の形状寸法 (単位 mm)

図2 2個取り用のタブ加工型具

図4 直接圧縮下でのタブ座屈挙動

図5 タブ座屈に及ぼす締付け力の影響 (組合せ材質: A1100P-O, タブ長さ $h=4\text{ mm}$)

くなると解消され、継手強度もかなり向上するが、その反面で締結時にタブの曲がりや座屈が起りやすく、適正な締付け力の範囲が大きく制約される。

無論、こうした現象は被加工材の調質度でも異なり、硬質材になるほど大きな引張分離力を示した。これは材料自体の強度が高いことのほかに、締結部の形状も関与している。すなわち、図8のごとくタブが長い場合でも、軟質材同志の組合せだとタブ側面の拘束力が低いのか、締付け力が大きくなるとタブが広域で変形する。これに比較して半硬質材同志の組合せだと、タブ側面の拘束が増え強固なかしめ形状を呈する。したがって、継手強度の増加割合も顕著となるが、これらの影響を具現するため部材の組合せ方を変更し、タブ側に軟質材または半硬質材を用い、被かしめ材は全く逆の組合せで実験を試みた。その結果が図9であるが、被かしめ材が半硬質でタブ側が軟質材の組合せ($H_{24}/0$)では、予想どおりタブ側面の拘束が増え強固となるため、軟質材同志の組合せ($0/0$)より高い強度を示した。しかし、この逆の組合せ($0/H_{24}$)では被かしめ材によるタブ側面拘束が低く、接触抵抗およびかしめ形状ともに向上せず、最低の強度しか示さなかつ

た。完成継手の外観上からは、最小のタブ長さで高い継手強度が得られれば最善である。そこで、被かしめ材の打抜き下穴縁の破断面側に、傾角 $\theta=45^\circ$ の角すいポンチを用い圧印力 $F_c=2.9\sim 3.6\text{ kN}$ で皿取りを試みた。すでにせん断縁の締結効果および圧印効果については柴原⁽⁶⁾、中川⁽⁷⁾、Sharpe⁽⁸⁾らの報告がある。継手強度の向上に関与する因子としては、締結に伴う強固なかしめ形状の促進およびせん断縁への再度の加工硬化の付与などである。図10は打抜き穴縁と皿取り穴縁を比較したものであるが、すべての締結条件で圧印効果が現れている。この理由は表2および図11からも自明で、前述の継手強度の向上要因が寄与したものである。ただ、皿取り作業は打抜きと同時に施す以外は余分な工程となり、また不適切な施工はかえって強度低下を招くので必ずしも得策ではない。

継手強度の向上は、タブ先端のかしめ形状を変更することでも達成できるが、その場合は完成継手の形状精度や面性状、締付け力の低減などから総合的に判断されなければならない。本実験では経験的によく利用されているVノッチ形、網目形のスナップを選び、その加圧面性状を平形スナップと対比し図12に示した。これらタブ先端のかしめ形状が、引張分離力に及ぼす影響を示したものが図13である。その順位はVノッチ形、網目形、平形となり、かしめ形状の影響が無視

図6 引張分離力に及ぼすタブ長さ、部材質の影響

図7 平形かしめ時のタブ長さ、締結形状 (組合せ材質: A 1100 P-O, 締付け力: $P_f=6.86\text{ kN}$)

図8 組合せ材質による締結形状の相違 ($h=3.5\text{ mm}$, $P_f=6.86\text{ kN}$)

図9 引張分離力に及ぼす組合せ条件の影響

できないことがわかる。すなわち、同一な継手強度を得るための所要締付け力は、Vノッチ形は他のスナップ形に対比して30～70%程度で目的が達成できる。これはすべて締結部の結合状態にかかわるもので、その態様は図14に示した。締付け力が低い領域での比較なので平形、網目形の締結形状に差が見られないが、このことは結果的に継手強度にも差が現れないことを意味する。ただし、網目形では締付け力を増せば、より強固なかしめ形状を呈するので、当然の帰結として両者の強度にも差が現れてくる。

3.3 継手の形状精度 ここでは被かしめ材のそり、およびタブ側母材の幅広がりなどを検討した。スナップがVノッチ形や網目形では、タブ先端の加圧が局部的なこともあって、そりや幅広がりとは全く起こらなかった。しかし、平形スナップを用いたときは、双方の変形が無視できない値となったので図15に示した。そり量 Δh 、幅広がり W は図15中の指定位置で計測したが、前者はタブが長いほど、また後者はタブが短いほど大きかった。これはタブが長いと被かしめ材からの突出量が大きいため、加圧に伴う変化量が増大することに起因し、逆にタブが短いと全体の押下がり量が多くなるためである。無論、同一タブ長さなら軟質材ほどこうした現象は助長される。

3.4 実験継手の実用強度 アルミニウムハンドブック⁽⁹⁾に提示された、各種溶接継手の標準データと対比して、実験継手の実用性を検討したものが図16である。溶接は溶加棒にとも金を用いた場合であり、また実験継手は基本形である平形かしめにおける最高

強度で示した。下穴縁が打抜きのままだと、溶接継手に比して締結強度も低く、その継手効率 $\eta=0.50$ と劣るが、皿取り穴縁を用いると溶接に匹敵し、継手効率も $\eta=0.82$ と高くなる。したがって、最適条件を選択し強固な締結形状とすれば、本実験のようなかしめ加工でT継手を製作しても、実用上の目的は十分に達

表2 締結前の試験片硬さ

Measured points		Vickers hardness : HV	
		Sheardroop side	Burr or Coined side
Counterpart sheet	Punched edge	0	41.5
		H ₂₄	51.5
	Coined edge	0	43.5
		H ₂₄	51.9
Tab stock		0	48.1 ~ 48.9
		H ₂₄	50.0 ~ 50.8

a. Combined (0/0) b. Combined (H₂₄/H₂₄)(h=3.5 mm, P_f=6.86 kN)

図11 皿取りの有無と締結形状

図10 引張分離力に及ぼす下穴縁形状の影響

図12 タブ加圧面形状の比較 (A1100 P-O, h=3.5 mm, P_f=3.92 kN)

図 13 引張分離力に及ぼすかしめ形状の影響

図 14 かしめ形状と締結形状 ($h=3.5$ mm, $P_f=3.92$ kN)

成できることがわかる。

4. 結 言

せん断加工したタブとスロットを用い、かしめ加工で T 継手を作製して、その締結特性を検討した結果は要約して次のようであった。

(1) 継手強度は締付け力の増加で単純に向上するとは限らず、締結条件によってはタブ座屈、形状不良を招く原因となるので、継手の組合せ条件に応じた適切な締付け力の選択が必要である。

(2) 継手の組合せ方法はタブ長さ、かしめ形状、締付け力が同一なら、被かしめ材が硬質なほど強固な継手となる。

(3) 高強度の継手は V ノッチ形スナップで得られ、同一強度の継手を作るための締付け力は、平形および網目形スナップに比して 30~70 % で済む。

(4) タブは被かしめ材よりの突出量が多いほうが良いが、これもスナップ形状や締付け力、継手形状精度などから適値が存在する。

図 15 平形かしめ継手の形状寸法の変化

図 16 継手実用強度の比較

(5) 被かしめ材の下穴縁は、打抜きのままより皿取り縁のほうが得策である。特に外観上からは皿取り縁を用いて、平形スナップで締結することが最善である。ただし、皿取りに際してはせん断縁のばりや破断面が、完全に平滑化されるような配慮が望まれる。

(6) 最適条件で継手を締結すれば、各種の溶接継手に匹敵する強度が得られる。

文 献

- (1) Strasser, F., *Functional design of metal stampings*, (1971), 90, SME.
- (2) 河村, 軽金属, 36-12 (昭 61), 830.
- (3) 河村, 機論, 53-485, C (昭 62), 194.
- (4) 河村, 機論, 53-496, C (昭 62), 2635.
- (5) 小玉・北郷, ファスナーハンドブック, (昭 46), 151, 日刊工業新聞社.
- (6) 柴原, アマダ技術ジャーナル, 52-24 (昭 47), 1.
- (7) 中川・ほか 3 名, 塑性と加工, 16-178 (昭 50), 1081.
- (8) Sharpe, W. N., *Trans. ASME, J. Eng. Mater. Technol.*, 100-7 (1978), 310.
- (9) 軽金属協会編, アルミニウムハンドブック, (昭 38), 674, 朝倉書店.