

金属板材のシャープ曲げに関する研究

職業能力開発大学校 生産機械工学科

助教授 小川秀夫

(平成6年度研究開発助成 AF-94017)

1. 研究の背景

内外装建築部材をはじめとして、最近の曲げ加工品には見た目の美しさの観点からシャープな曲げ部が要求されることが多い。現在、シャープな曲げのために採られている方法として、曲げの内側にあたる部分を平板の状態であらかじめV溝状に切削してから曲げる方法¹⁾がある。しかしこの方法では、V溝状に切削した曲げ部の板厚が薄くなり曲げ部材の強度低下を引き起こすこと、板金加工工程の中に切削という塑性加工でない工程が加わること、またその切削には多大な時間を要するという問題点がある。切削時間を短縮するためにプレーナー形式のV溝切削機²⁾や、メタルソー形式の切削機³⁾が開発されているが、これらを導入するには新たなコストが発生し、工場面積も圧迫する。さらに、加工板材へのパンチング工程や曲げ工程とは別の工程でV溝切削が行われるため、V溝位置と穴あけ位置の精度の確保が困難になるといった課題が生じている。こうした背景から、上記の課題を解決する新しいシャープ曲げ加工法の開発が強く望まれている。

2. 研究の目的

V溝切削法によるシャープ曲げでの問題点をすべて、同時に解決する新しい加工法を開発することが本研究の目的である。つまり、以下の要求を同時に満足する新しい加工法を開発し、実用化することを本研究の目的とする。

- (1) V溝切削による板厚減少のために生じる曲げ部材の強度低下を防ぐこと。
- (2) V溝切削機など特別な専用機を必要とせず、既存の加工機械を利用できること。なかでも建築部材の曲げを主加工とすることから、プレス機械、プレスブレーキ、CNC タレパンなど板金加工機械を利用できること。
- (3) 加工時間が短いこと。
- (4) 穴あけ位置と曲げ線位置との精度が確保できること。

上記の要求を満たす実現可能な加工法として、板材素板にくさび形工具を押込み、V溝を形成してから曲げる方法を提案し、検討することにした。この加工法を押込み曲げ加工法とよぶことにする。特徴として以下のことをすべて満たす加工法であることを目指す。

- (1) くさび形工具の押込みにより生じる加工硬化に

よって曲げ部の強度低下を防げること。

- (2) 建築部材を曲げるという本来の目的で使用するプレス機械やプレスブレーキを用いて押込み溝成形を行い、溝成形のための新たな専用機を必要としないこと。またこれらの機械特性を活かして1行程で溝成形を終了するようにし、溝成形に要する加工時間を非常に短くできること。
- (3) 溝成形には CNC タレパンの利用も可能とし、溝成形と穴あけ加工が材料の掴み換え無しできるようにし、溝位置、すなわち曲げ位置と穴あけ位置の精度向上を飛躍的にはかされるとともに、材料の掴み換えをしないことから大幅な時間短縮がはかれること。

研究遂行にあたっては、本加工法の可能性、ならびにその効果を明らかにする基礎的研究と、くさび形工具の適正形状、押込み条件の検討、ならびに CNC タレパンによる実成形の検討などの実用化研究の両面から行った。

3. 研究成果の概要

3.1 押込み曲げ加工法

図1に押込み曲げ加工法の概要を示す。(a)に示すように平面ダイの上に置いた素板に押込みパンチを

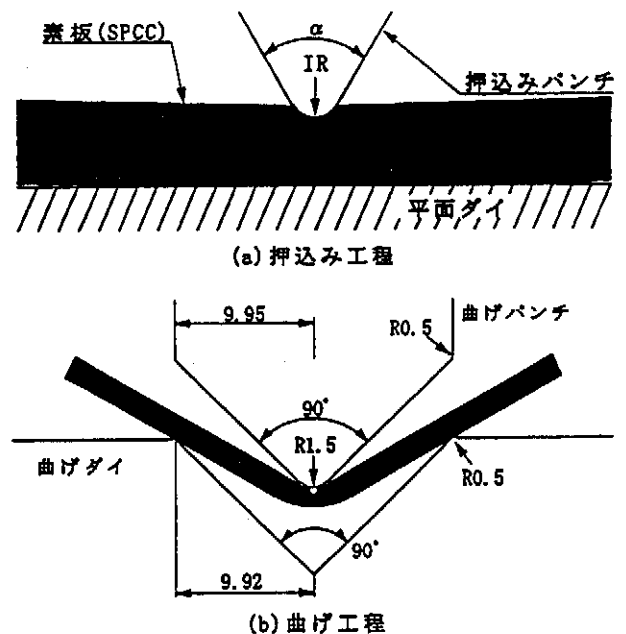


図1. 押込み曲げ加工の概要

下降させてV溝を成形し、次に(b)の曲げ型により曲げ加工を行うものである。本研究で用いた素板は公称板厚 1.6mm の SPCC であり、加工条件として、押し込みパンチの先端半径 IR 、先端角 α 、押し込み深さ S_i を変化させた。曲げ加工条件は図 1(b)の曲げ型 1 条件とした。また、切削溝との比較も行った。

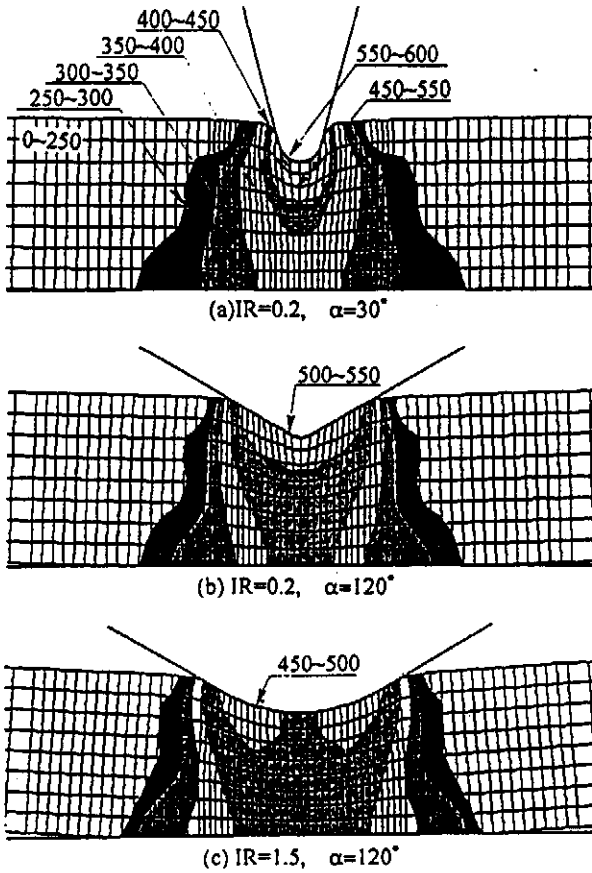


図 2. 押し込み成形部の形状と相当応力分布(MPa)

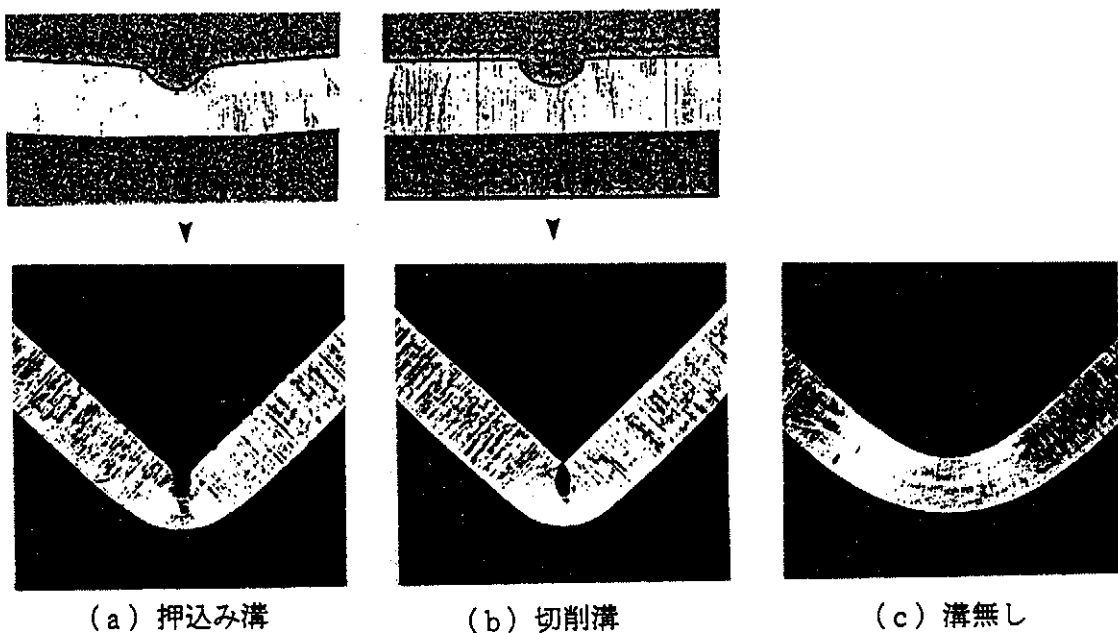
検討は実験、ならびに弾塑性有限要素法シミュレーションによって行った。使用した弾塑性有限要素法シミュレーションコードは ITAS-2D⁴⁾、及び AITAS-2D⁵⁾である。

3.2 押し込み工程

図 2 に押し込みパンチ条件を変化させたときの押し込み形状と、相当応力分布を示す。押し込み部の相当応力の平均値は押し込みパンチの形状の影響をあまり受けないが、押し込み深さの影響は強く受け、押し込み深さが深くなるほど相当応力の平均値は大きくなる。押し込みによって生じる素材の強度上昇をビッカース硬さによって測定すると、その結果は相当応力の平均値の変化とまったく同じ傾向を示し、押し込み深さ $S_i=0.8\text{mm}$ (板厚の約 1/2 まで押し込んだ条件) での硬さは、素板時の約 1.7 倍にまで上昇した。

押し込み荷重は押し込みの進行とともに増加し、パンチ先端半径ならびにパンチ先端角が大きくなるほど、同一押し込み量での荷重は大きくなる。

押し込み時の形状の特徴としてフランジのはね上がり (図 2(c)参照) がある。はね上がり角は押し込み量の増加とともに大きくなるが、その傾向はパンチ先端半径ならびにパンチ先端角が大きくなるほど大きくなる。しかしこのはね上がり変形は次工程の曲げを行う上で何ら支障となることはなかった。なお、押し込み深さ 0.4mm でののはね上がり角は $0.5^\circ \sim 3.5^\circ$ の範囲である。もう一つの特徴としてフランジ寸法の変化 (図 2 で示せば左右方向へのひろがり) がある。フランジ寸法の変化はパンチ先端半径ならびにパンチ先端角が大きくなるほど大きくなる。この寸法変化は曲げ加工品の展開寸法を求める際に考慮しなければならない値であるが、押し込み深さ 0.4mm 時での寸法変化 (フランジ片側) は $0.05 \sim 0.2\text{mm}$ 程度である。



(a) 押し込み溝

(b) 切削溝

(c) 溝無し

図 3. 曲げ加工後の形状比較

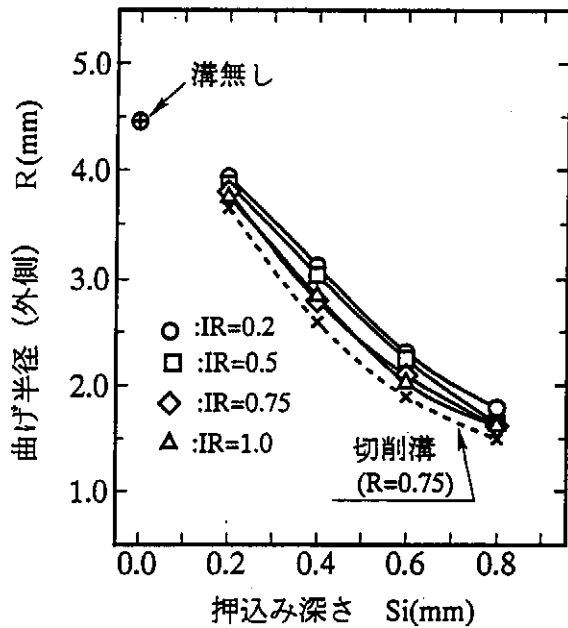


図4. 曲げ半径 (曲げの外表面)

3.3 曲げ工程

図3は曲げ加工後の形状を示したものである。溝無し条件と比較して、押込み溝、切削溝ともに曲げ半径が小さく、シャープな曲げ部の得られることがわかる。図4は曲げ部の半径(曲げの外側表面での半径)を示したものである。押込み深さが深くなるほど曲げ半径が小さくなりシャープさが増す。板厚の約1/4の押込み溝を形成してから曲げると、曲げ半径は溝無しの場合に比べて約1/2になる。ここで注目したいことは、切削溝と押込み溝とでほとんど曲げ半径に差が無いことと、押込みパンチ先端半径の影響は小さいことである。

次に曲げ部の強度について検討した。曲げ部の強度を評価する手段として、曲げ部の硬度分布を測定する方法や、図5に示すように実際に曲げ戻す方法などが考えられる。また曲げ加工中の荷重そのものが曲げられた部材の強度に相当しているとも考えられる。図5に示す方法で曲げ戻したときの曲げ戻し荷重と、曲げ加工中の最大荷重を比較したところ、両者の関係はきわめて良い相関を示した。このことからここでは自由曲げ範囲での最大荷重を求め、その値で曲げ部の強度を評価することにした。図6は曲

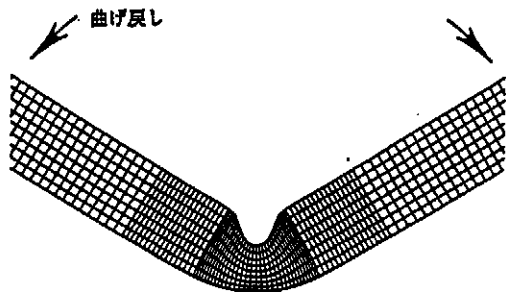


図5. 曲げ戻し法による強度評価

げ加工中の最大荷重を示したものである。押込み深さが深くなるほど残りの板厚が薄くなるため最大曲げ荷重は小さくなり曲げ部材としての強度は低下する。しかし同一深さの切削溝材の最大曲げ荷重と比較すると、その値は大きく、押込み深さ0.6mmでは約1.5倍となっており、明らかに押込み溝成形による曲げ加工では曲げ部材の強度低下が小さいことがわかる。最大曲げ荷重に及ぼす押込みパンチ形状の影響は小さいといえる。

3.4 CNCタレパンによる押込み溝成形

これまでの検討結果から、切削溝の約1.5倍程度の曲げ部材の強度が得られ、しかも曲げ部のシャープさは切削溝とほとんど変わらないことが判明した。しかし押込み曲げ加工法では曲げ線長さが長くなると押込み溝成形のための荷重も大きくなり、通常のプレスブレーキでは対応できなくなることも考えられる。このことからCNCタレパンによる溝付け加工を検討した。CNCタレパンは板金加工業種で広く一般に使用されていること、そのニプリング機能によって1行程あたりの加工力を小さくできることを特徴としている。CNCタレパンによる溝付け加

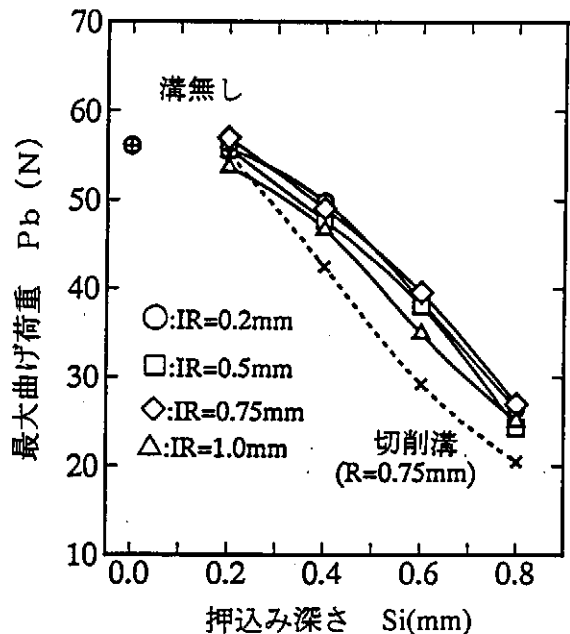


図6. 最大曲げ荷重による曲げ部の強度評価

工が可能となれば、加工板材への穴あけも掴み換え無しで同時に加工できることになり、穴位置精度の向上、加工時間の短縮にとつてきわめて大きな効果があると考えられる。

図7はCNCタレパンによる溝付け加工のために開発、製作した押込み溝加工用のパンチ、ダイである。これらをアマダ製CNCマルチパンチプレスOCTO-334に取り付け、素板の送りピッチを2~10mmに変化させて溝付け加工を行った。

図8はCNCタレパンで溝付け後、曲げ加工したとき

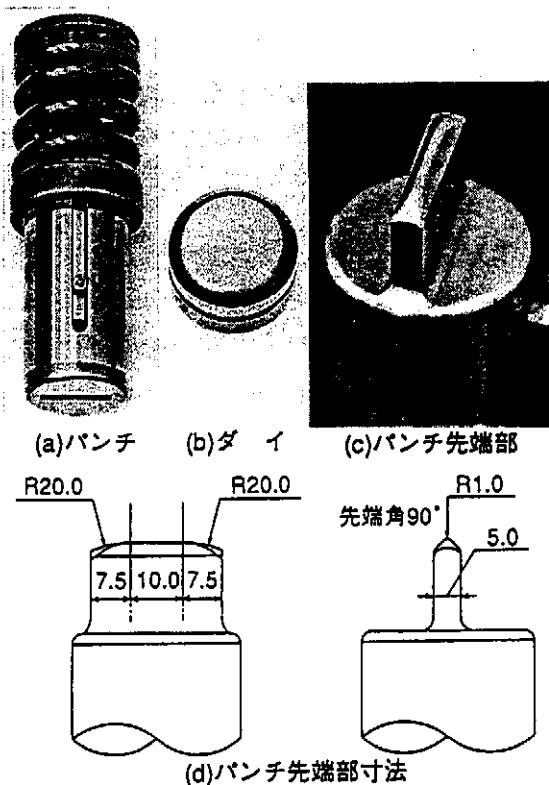


図7. CNC タレパンによる溝成形工具

の押し込み溝深さと曲げ半径の関係を示したものである。同図中には曲げ部の断面形状も示してある。これまでの基礎研究の結果と同様に、溝深さが深くなるほど曲げ半径は小さくなる。また同図から見られるように、素板の送りピッチが曲げ半径に及ぼす影響はきわめて小さい。図8中の×印は切削溝による曲げ半径であるが押し込み溝の場合と大きな差は無い。図9は CNC タレパンによる溝付け材の最大曲げ荷重 P_b と押し込み溝深さの関係を示したものである。基礎実験の結果とほぼ同様に、押し込み溝深さ 0.6mm では切削溝の強さの約 1.6 倍となっており、溝深さが深くなるほど押し込み溝と切削溝の強度の差が大きくなる。ここで着目したいことは、押し込み溝深さが 0.2~0.3mm と比較的浅い押し込み溝加工条件での P_b は、◎印で示した溝無し材よりも大きくなっていることである。押し込み溝成形の加工硬化による強度向上の効果が板厚減少による強度低下を上回っていることを示している。また押し込み深さ 0.3mm での曲げ半径を図8から見ると、溝無し条件の約半分になっている。以上のように CNC タレパンによって押し込み溝の成形が可能であり、軽度な押し込みを行うことによって曲げ部材の強度の向上と曲げ部のシャープさを両立できることが判明した。

4. まとめ

V溝切削法によるシャープ曲げでの問題点を解決する新しいシャープ曲げ加工法を開発することを目的として、金属板材にくさび形工具を押し込み、V溝を成形してから曲げる押し込み曲げ加工法を開発し、そ

の実用化を検討した。以下のような結果を得て、その有効性が確認できた。

- (1) 押し込み部の強度は押し込み深さが深くなるほど大きくなり、素板板厚の約 1/2 まで押し込んだ場合、V溝切削法による曲げ部材より約 1.5 倍程度の強度が得られる。
- (2) V溝切削法と押し込み曲げ加工法ではほとんど曲げ半径に差が無く、V溝切削法とほぼ同様なシャープな曲げ部が得られる。板厚の約 1/4 の押し込み溝を形成してから曲げると、曲げ半径は溝無し材の約 1/2 になる。
- (3) CNC タレパンのニプリング機能によって押し込み溝成形が可能である。
- (4) CNC タレパンのニプリング加工によっても曲げ部材の強度向上、ならびに曲げ部のシャープさ向上には同様な効果が得られる。とくにニプリングによって 0.2~0.3mm の浅い溝加工を行った場合、加工硬化による強度向上が板厚減少による強度低下を上回り、溝無し材よりも曲げ強度が高くなる。

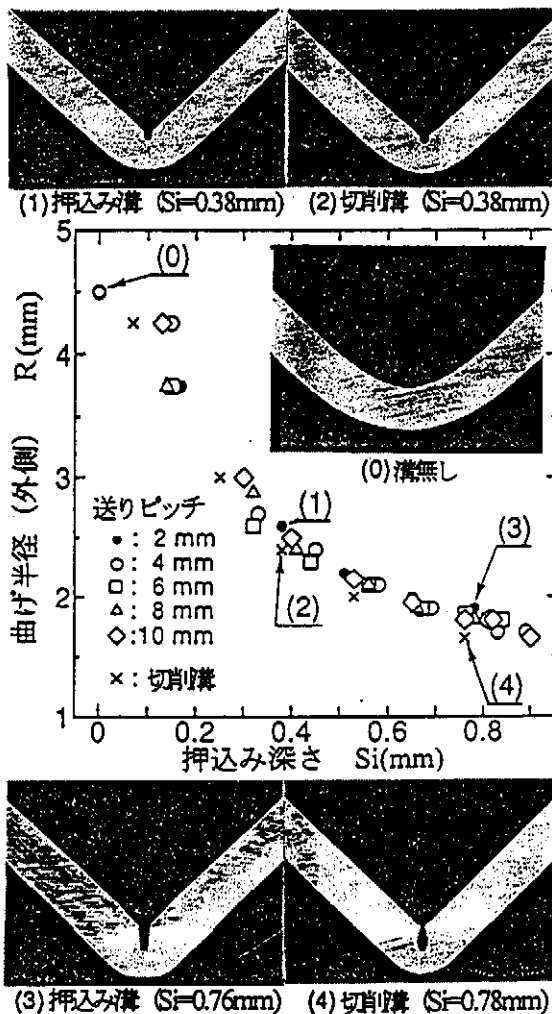


図8. CNC タレパンにより溝成形した曲げ成形品の曲げ半径と断面形状

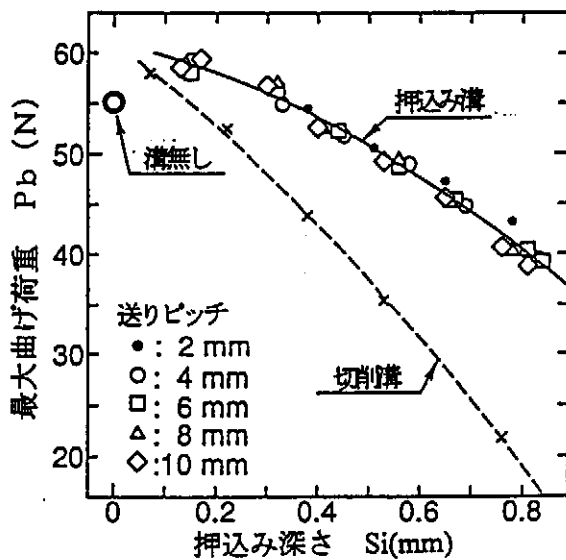


図9. CNC タレパンにより溝成形した曲げ成形品の強度

以上のことから、切削溝による板材のシャープ曲げに代わる方法として、押込み曲げ加工法は曲げ部材の強度の向上と曲げ部のシャープさを両立できる有効な加工法であると結論できる。

5. 発表論文

(1)小川秀夫, 牧野内昭武: 金属板材のシャープ曲

げに関する研究(第1報), 平6春塑加講論, (1994), 703.

(2)小川秀夫, 牧野内昭武: 金属板材のシャープ曲げに関する研究(第2報), 45回塑加連講論, (1994), 581.

(3)小川秀夫, 牧野内昭武: 金属板材のシャープ曲げに関する研究(第3報), 46回塑加連講論, (1995), 53.

(4)小川秀夫, 牧野内昭武: 押込み成形による金属板材の小半径曲げ加工法のシミュレーション, 第15回シミュレーション・テクノロジーコンファレンス, (1996), 53.

(5)小川秀夫, 牧野内昭武: 金属板材のシャープ曲げに関する研究(第4報), 平10春塑加講論, (1998), 703.

参考文献

(1)滝沢堅, 森尚達, 小川秀夫: 平2春塑加講論, (1990), 343.

(2) (株)アマダ: カタログ, V-CUT MACHINE No.91N3-01.

(3)フコク(株): SHEET METAL & FABRICATOR, 42-2(1998),83.

(4)牧野内昭武: 理化学研究所報告, 66(1990),30.

(5)滝沢堅: FEM シミュレーションシステム分科会資料集第6号, (1994),19.