

プレス打抜き加工における加工条件の最適化^[1]

Optimization of Press Stamping Conditions

有限会社 増田技術事務所

代表取締役 増田雪也

(info2qe@po27.lcv.ne.jp)

プレス打抜き加工は、加工能率に優れ、大量生産によるコスト削減には欠かせない加工方法である。パンチおよびダイを用いて被加工物を打抜き単純な加工方法であるが、材料の塑性変形のみならず、破壊を伴うことから複雑な機構を持った加工方法であると言える。よって、理論的な解析が難しく、定性的な手法を中心とした研究や現場技術者の経験により加工条件が決定されているケースが多い。

そこで本研究では、プレス打抜き加工における品質工学適用の可能性および加工条件の最適化を検討した。その結果、品質工学が適用可能であり、パンチ材質および板押さえ力がS/N比に対して大きな影響を与えること等が明らかとなり、最適加工条件を求めることができた。また、品質特性であるかえりの高さについても改善することができた。

キーワード：タグチメソッド、パラメータ設計、ロバストデザイン、品質工学会

Key Words：Taguchi Methods, Parameter Design, Robust Design, Quality Engineering Society

1. 緒言

品質工学は様々な分野に適用されているが、機械加工分野においても、切削加工等に応用され高い実績を上げている。

機械加工分野の中でも塑性加工に関しては、プレス深絞りについて対数変換した製品肉厚の変化量が絞り回数に比例することを基本機能とした研究¹⁾が報告されている。一方、同じ塑性加工分野のプレス打抜き加工に関しては、加工の初期において塑性変形が起こり、最終的に破断をさせるという点において、他の塑性加工と異なる特徴を有しており、品質工学を用いて研究された事例は報告されていない。

そこで本研究では、プレス打抜き加工における品質工学適用の可能性および加工条件の最適化を目的として実験を行った。また、この研究は最初から精密プレス加工への適用を目指すのではなく、まず単純化した普通サイズレベルで基本機能の検討を行うことにした。

2. 品質工学的検討

2.1 基本機能の検討

図1に入出力の関係を示す。プレス打抜き加工は、金型(パンチおよびダイ)を用いて被加工物をせん断する加工方法である。金型の切れ刃と被加工物の接触する長さが長くなれば、打抜きに要するエネルギーも大きくなると考えられる。よって、切れ刃の長さであるせん断周囲長さの平方根Mと打抜きエネルギーの平方根yがゼロ点比例することを基本機能とした。

2.2 信号因子および特性値

信号因子は、せん断周囲長さを3水準(8,12,16mm)設定した。打抜き時にパンチにかかる荷重およびパンチストロークの関係を図2に示す。金型が被加工物を打抜く過程²⁾は、まずパンチが被加工物に食い込むにしたがって荷重が増加し、クラックの発生と共に荷重が減少し切断に至る。特性値としての打抜きエネルギーは、この打抜き荷重をパンチストロークで積分することにより算出した。

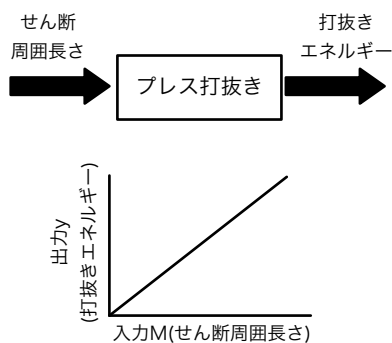


図1 入出力の関係

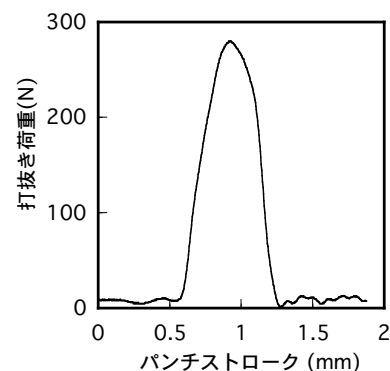


図2 打抜き荷重の変化

表1 誤差因子

誤差因子	水準	
	摩耗なし (新品金型)	摩耗あり (刃先に0.1Cの面取り)
劣化		

2.3 誤差因子

パンチおよびダイは、打抜き回数が多くなるにしたがって刃先が摩耗し丸くなる。³⁾ この摩耗の有無に影響を受けないで、安定した打抜きを行えることが理想である。そこで今回は、パンチおよびダイの刃先の摩耗を誤差因子に設定した。

表1に誤差因子を示す。摩耗なしの場合は、新品の金型を用いた。また、摩耗ありの場合は、新品金型の刃先に0.1Cの面取り加工を施した。実際の金型の摩耗は、丸みをおびるのが普通であるが、加工が複雑になるため、今回の実験では面取り加工で代用した。

2.4 制御因子

表2に制御因子を示す。L18直交表に6因子を割り付けて実験を行った。本来ならば8つの因子を割り付けることができるが、実験の規模および費用が膨大になることが予想されたため、6つの因子のみを割り付けることとした。

パンチ材質は、超硬および調質した冷間金型用合金工具鋼 (SKD) を設定した。どちらも高硬度の材質であるが、超硬の方が剛性が高いため、打抜き時の変形は小さいと考えられる。また、ダイ材質については、超硬をダイ形状に加工することが困難であるため、SKDのみを使用した。

パンチシャワー角 ω は、パンチ先端を斜めに加工することにより、打抜きが局部的に行われるため、打抜き荷重が小さくなる効果がある。今回の実験では、パンチシャワー角を付けない水準と、試験片板厚0.5mmの1/4および1/2になるような角度を付けた水準を設定した。

クリアランスはパンチとダイの隙間である。打抜きにおける最も重要な因子であり、最適なクリアランスでは、打抜きエネルギーが最小になると考えられている。今回は、試験片板厚0.5mmに対して、4%、8%および12%となるようなクリアランスを設定した。

板押さえ力は、打抜き加工時に試験片の両側を押さえる力である。文献4)によれば、板押さえ力は打抜き荷重の30~50%程度が適当とされている。今回は、最大打抜き荷重の約50%、100%および200%となるような水準に設定した。

打抜きスピードに関しては、高速度打抜きと呼ばれるような数m/s以上の速度での打抜きに比べると、かなり小さい値を設定せざるを得なかった。この理由は、今回用いたプレス機のパフォーマンスによるものである。しかし、今回の実験の目的は、プレス打抜き加工における品質工学適用の可能性を検討することであるため、支障はないと考えた。

潤滑は、金型の摩耗や欠損を防止する効果がある。試験片表面に潤滑油を塗布することにより潤滑を行った。

表2 制御因子

制御因子	水準		
	1	2	3
A パンチ材質	SKD	超硬	
B パンチシャワー角 ω (deg)	0	2.86	5.71
C クリアランス(μ m)	20	40	60
D 板押さえ力(N)	125	245	535
E 打抜きスピード(mm/s)	40	25	10
F 潤滑	あり	なし	

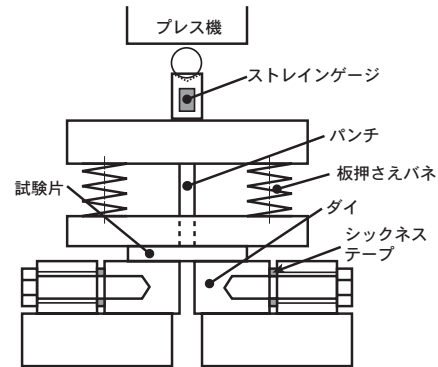


図3 実験装置

3. 実験方法

3.1 実験装置

図3に実験装置の概略図を示す。この金型をダイセットに組み込み、プレス機で押し込むような構造である。打抜きは試験片を板押さえバネで押さえつけた後、パンチが打抜くようになっている。

パンチおよびダイのクリアランスは、ダイとダイ枠の間に市販のシクネステープ (厚さ5、10、50 μ m) を挟み込むことにより調整した。打抜き荷重は、プレス機がパンチを押すシャフトに2枚の半導体ストレインゲージを貼付して測定を行った。このデータをストレインアンプ(Filter=100Hz)により増幅してパソコンに取り込み、時間軸をパンチストロークに変換し、積分することにより打抜きエネルギー値を算出した。また、打抜き荷重のサンプリングレートは8000sample/sに設定した。これは今回の打抜きの様子を測定するに十分に高速なレートである。

3.2 試験片

図4に試験片寸法および打抜きの様子を示す。

試験片には純アルミニウム (JIS A1050) の板を用いた。これは打抜き荷重測定システムの都合上、測定荷重の最大値に制限があったため軟らかい材質を選択した。

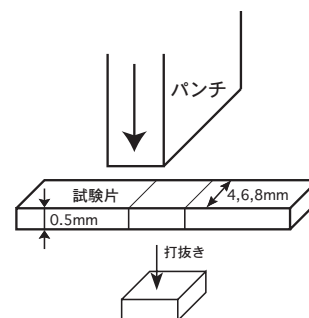


図4 試験片

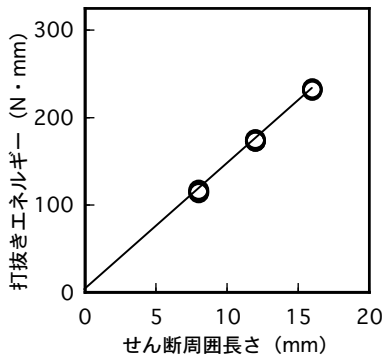


図5 予備実験結果

4. 予備実験

L18直交表実験を行う前に、せん断周囲長さや打抜きエネルギーの比例関係および設定外の因子の有無について確認するために予備実験を行った。

誤差因子および制御因子をある条件に固定し、3回の繰り返し測定を行った結果を図5に示す。測定値のばらつきは小さく、また直線性も非常に良好であった。この結果から、設定した基本機能は実際に比例関係を示し、また、実験に重要な影響を与えるような設定外の因子もないと判断し、L18直交表実験に進んだ。

また、測定値がシステムの最大測定荷重限界値(1500N)をオーバーすることによる欠測値の発生を予防するために、打抜き荷重が最大となるような制御因子の水準の組み合わせで予備実験を行った。この結果、最大となる組み合わせでの荷重は、システムの最大測定荷重より小さいことを確認した。

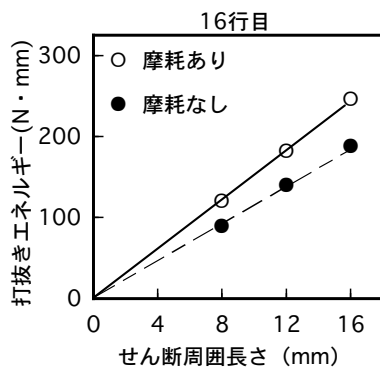
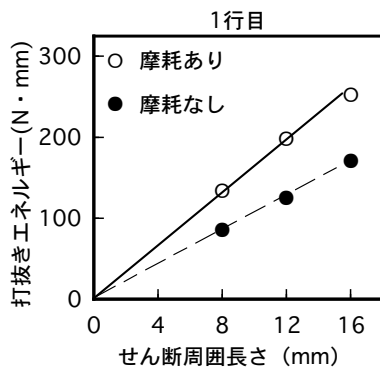


図6 1行目および16行目の実験結果

表3 利得の再現性 (打抜きエネルギー)

	S N比 η (db)		感度 S (db)	
	推定	確認	推定	確認
最適条件	11.63	11.04	11.14	11.12
比較条件	8.02	7.49	10.89	11.38
利得	3.61	3.55	0.25	-0.25

5. 実験結果

5.1 測定データ

図6に直交表による実験のうち、1行目および16行目の測定結果を示す。

1行目 (S N比=7.9db) は、誤差因子の影響により大きなバラツキが発生しているが、直線性は良好であった。一方、16行目 (S N比=11.6db) は、1行目に比べるとバラツキは小さく、直線性も良好であった。

この二つの行の実験結果の違いは、制御因子のパラメータの違いにより、誤差因子の影響の受けやすさに差があることを意味している。よって、制御因子の水準の最適化によるS N比の向上が期待できる。

5.2 実験データの解析

S N比および感度を求めた手順を示す。

5.3 要因効果図および利得の再現性

図7に要因効果図を示す。この結果から、最適条件および比較条件を以下のように設定し確認実験を行った。

最適条件 A2B3C2D3E3F2

比較条件 A1B1C1D2E2F1

表3に利得の再現性を示す。S N比は推定3.61dbに対して確認3.55dbとなり、再現していると言える。また、感度についても再現していると言える。これらのことから、プレス打抜き加工において、品質工学が適用できることが明らかとなった。

6. プレス打抜き加工への適用

6.1 最適条件の選択

S N比の高い水準を選択することは当然であるが、感度に関しては低い方を選択する必要がある。なぜならば、打抜きエネルギーが小さい方が、金型に与えるダメージを低減でき、金型の長寿命化や微細金型への応用

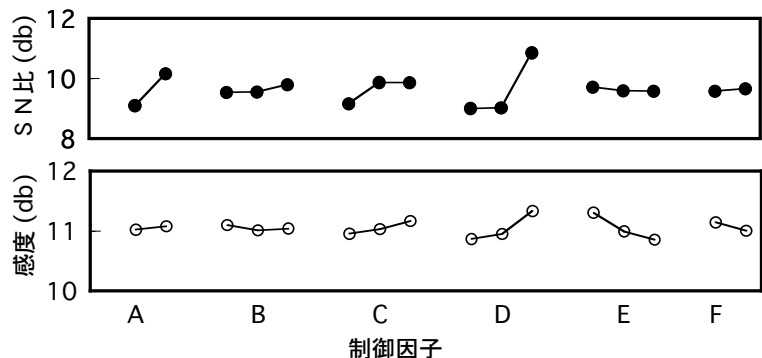


図7 要因効果図 (打抜きエネルギー)

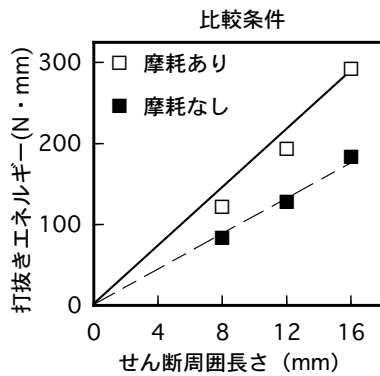
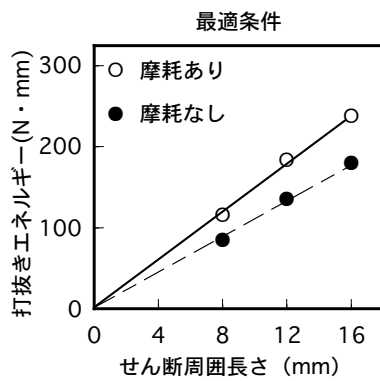


図8 最適条件および比較条件

が期待できるからである。また、被加工物に与えるダメージも小さくすることができるため、被加工物の変形を最小にすることが可能となる。さらに、打抜き時の騒音や振動についても低減できると考えられる。

以上のような観点から、実際にプレス打抜き加工を行う上での最適条件を選択する。

パンチ材質については、超硬の方がSN比が高く、また二つの水準間の差も大きい。感度はその差が小さいため、どちらを選んでも同じである。よって、超硬を選択する。

パンチシャープ角については、SN比および感度はどちらも水準間の差は小さい。シャープ角が大きい方が若干SN比および感度について有利であるが、シャープ角の加工にコストおよび時間がかかるため、シャープ角0を選択した。

クリアランスは、SN比については20μmのみ低く、40および60μmについては同じレベルである。また、感度はクリアランスが大きいほど高くなる。よって、SN比が高く、しかも感度もそれほど高くない40μmを選択する。

板押さえ力については、強い押さえ力の方がSN比は圧倒的に高くなる。感度についても同様に高くなってしまいが、SN比の方を優先し、535Nを選択する。

打抜きスピードについては、SN比に大差はなく、速い方が若干高くなる程度である。一方、感度は速い方がかなり高くなってしまふことから、一番感度が低く、エネルギー的に有利な10mm/sを選択する。

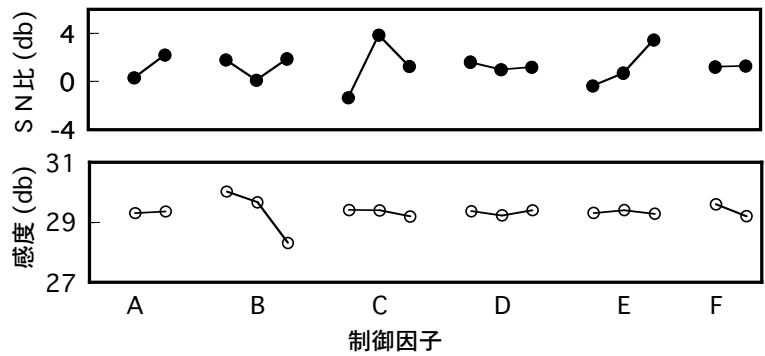


図9 要因効果図 (最大打抜き荷重)

潤滑は、SN比および感度ともに水準間の差は小さい。潤滑なしの方が若干感度が低いため、そちらを選択する。

以上のことから、最終的に選択した最適条件では、SN比=11.04dbのプレス打抜き加工を行うことが可能となった。

図8に確認実験で行った最適条件 (11.04db) および比較条件 (7.49db) での、せん断周囲長さおよび打抜きエネルギーの関係を示す。最適条件に比べると比較条件はバラツキが大きくなっており、直線性も良くないことがわかる。特に比較条件のせん断周囲長さ16mmの摩耗ありでは、打抜きエネルギーが高い値となっている。これは、パンチ材質の剛性が超硬 (最適条件) に比べて低いSKD (比較条件) を使用しているため、パンチに反りなどの変形が発生していることに起因するものと考えられる。

6.2 基本機能の妥当性

図9に基本機能の特性値を最大打抜き荷重に変更して解析を行った要因効果図を示す。図7に示した要因効果図 (特性値: 打抜きエネルギー) とは明らかに傾向が異なる。また、パンチシャープ角およびクリアランスにおいて、大きな山谷型の傾向が見られる。

表4に最大打抜き荷重で解析を行った時の利得の再現性を示す。SN比の推定値9.88dbに対して確認実験値3.13dbとなり、再現性が乏しい結果となった。よって、本研究において、せん断周囲長さおよび打抜きエネルギーをプレス打抜き加工の基本機能としたことは、妥当であったと考えられる。

以上のことから、プレス打抜き加工に対して品質工学を適用することは可能であり、今後この種の機械加工分野においても更なる品質工学の適用が期待できる。

表4 利得の再現性 (最大打抜き荷重)

	SN比 η (db)		感度 S (db)	
	推定	確認	推定	確認
最適条件	7.03	2.13	28.28	28.87
比較条件	-2.85	-1.00	30.29	30.77
利得	9.88	3.13	-2.01	-1.90

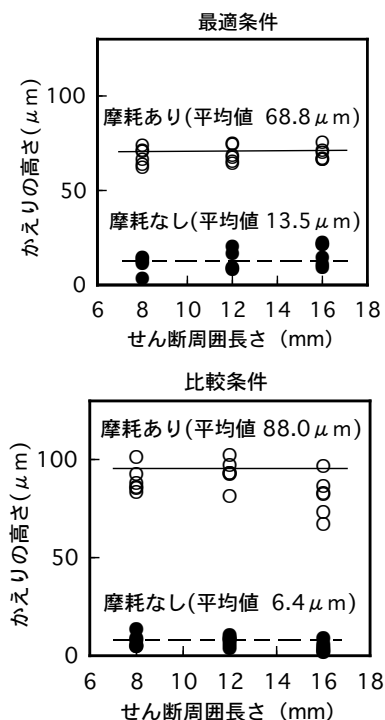


図10 かえりの高さの比較

6.3 品質特性の評価

図10に最適条件および比較条件における、試験片のかえりの高さを示す。光による非接触の測定器を用いて、一つの試験片に対して6カ所のかえりの高さを測定したものである。

両条件ともに摩耗なしの方が、かえりの高さは小さくなっている。摩耗ありでは、比較条件の方がかえりの高さは大きくなっており、また、同一試験片内でのバラツキも大きい。

以上のことから、品質工学的な最適条件においては、品質特性であるかえりの高さも改善されることが明らかとなった。

6.4 今後の課題

今回の実験では、研究室での単純化した普通サイズレベルの最適化が実現できた。よって、次のステップとし

て、実際の生産現場での品質工学を用いたプレス打抜き最適化実験を支援していく必要があると考えている。また、微細金型への適用および種々の被加工物材質についても、今後検討していく必要がある。

6.5 経済効果

金型の摩耗に対してロバストな最適加工条件を得ることができたため、金型の長寿化によるコスト削減が可能となる。

7. 結言

純アルミニウム板のプレス打抜き加工における最適加工条件について、品質工学を用いて検討した。その結果、以下の結論が得られた。

(1) 品質工学の手法をプレス打抜き加工に適用し、その有効性を明らかにした。

(2) 基本機能として「せん断周囲長さ」と「打抜きエネルギー」および「せん断周囲長さ」と「最大打抜き荷重」を取り上げ検討した。利得の再現性の結果から、エネルギー変換をベースにした基本機能「せん断周囲長さ」と「打抜きエネルギー」を用いることが妥当であることを明らかにした。

(3) プレス打抜き加工における最適加工条件を明らかにした。最適加工条件による加工では、金型の摩耗による影響を小さくすることができた。また、品質特性である、かえり高さの改善も可能となった。

本研究は長野県品質工学研究会の事例研究として実施した。

参考文献

- 1) 白塚山覚, 嶋田善宏, 川澄保満: プレス深絞りの最適化, 品質工学, 9, 2, (2001), pp.42-47.
- 2) 日本塑性加工学会編: わかりやすいプレス加工, 日刊工業新聞社, p.114 (2000).
- 3) 高橋幸雄: プレス打抜きと型設計, 日刊工業新聞社, p.50 (1964)
- 4) 新プレス加工データブック: 新プレス加工データブック編集委員会編, 日刊工業新聞社, p.51 (1993)