

データベースを基とする アルミニウム合金プレス成形用AI制御システムの開発

東京都立大学 工学部 機械工学科

助教授 真鍋健一

(平成3年度研究開発助成 AF-91022)

1. 研究の背景と目的

1988年の米国CAFE規制に伴い、より一層の自動車重量の軽減、燃費の向上が要求され、自動車ボディパネルのアルミニウム化が急速進展し、軽量化の旗手として注目を浴びている。しかし、アルミニウム合金は鋼板と比較して亀裂が生じやすく成形性が著しく劣り、スプリングバックが大きく製品精度も悪い。また、アルミニウム合金のプレス成形に関する研究は少なく、成形性に関するデータベースもほとんど見られない。

このような状況から、本研究はアルミニウム合金の成形性と加工精度を向上させるためにアルミニウム合金の成形特性を実験的並びに理論的に評価・データベース化し、更にそのデータベースを基とする制御システム（材料特性センシングシステムとAI制御システム）を導入することによって、アルミニウム合金プレス成形の最適加工の実現を試みようとするものである。本研究ではプレス成形として、自動車ボディパネル成形の要素技術である絞り成形を対象とする。

2. データベースを基とする

材料特性センシングシステムの開発

これまで絞り行程中にインプロセスで材料特性などを同定し、適応制御する深絞り法が開発されている¹⁾。しかし、これは初等理論に基づいているためその同定精度は十分でなく、ばらつきは±10%程度で、その向上が課題となっている。ここでは、精度向上を目的に、新たにデータベースに基づく方法について検討する。

2.1 数値シミュレーションデータベースをニューラルネットワーク（以後、N. N.）に用いた学習

差分法による r 値を考慮した円筒深絞り加工のシミュレーション結果から構築されたデータベースを用いて、N. N. を学習させた。N. N. の入力要素はパンチ力 P 、フランジ端の肉厚 t 及びフランジ端減少率 ΔDR^* とし、教師データは材料特性値（ n 値、 F 値、 r 値）及び摩擦係数 μ とした。すなわち、時々刻々の加工状態（入力要素）を読みとり、N. N. に入力することによって材料特性と μ を同定する。N. N. は4層構造とし、各層のニューロン数はそれぞれ12、18、

18、4とした。N. N. の学習はバックプロパゲーションによって行い、全部で34種類の教師データを用いたN. N. の学習を50万回行い、トータル誤差は0.02となった。

このようにして学習したN. N. に、しわ抑え力 H を9.8-147Nの間で変化させて行ったシミュレーションの結果を入力データとして代入した同定結果を図1に示す。横軸は教師データの番号を示し、縦軸はN. N. の出力を教師データで割った値を示す。すなわち、この値が1.0に近いほど同定結果の信頼性が高いことを示している。この結果から基本的に信頼性の高いデータベースが構築されれば、そのデータベースを基にN. N. を学習させることによって、それから得られる同定結果はきわめて精度が高くなるといえる。

2.2 実験データベースをN. N. に用いた学習

前節の数値シミュレーションデータベースは差分法による結果であり、それ自体の信頼性はまだ十分といえない。そこで、ここでは実験結果を基に作成されたデータベースをN. N. の学習に用い、その有効性について検討した。

ここではより高精度の同定を行うため、新たに次のパラメータを導入した。実験から得られたデータを図2に示すように横軸にフランジ端減少率 ΔDR^* 、そして縦軸にパンチ力 P 、フランジ端厚さ t をとり最小二乗法により求めたその傾きと切片である。すなわち、この場合のN. N. の入力

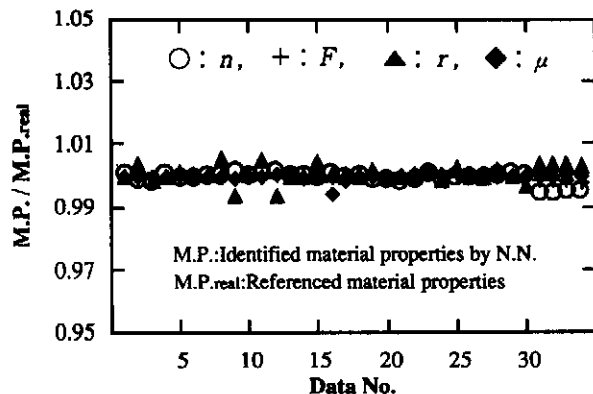


図1 深絞り変形シミュレーションデータベースを基にしたニューラルネットによる材料特性の同定結果

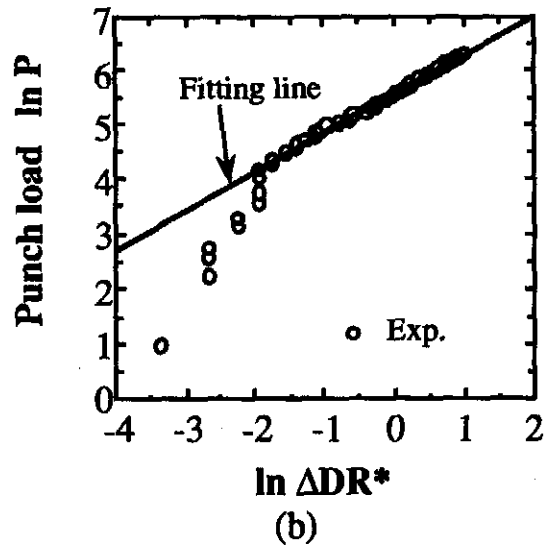
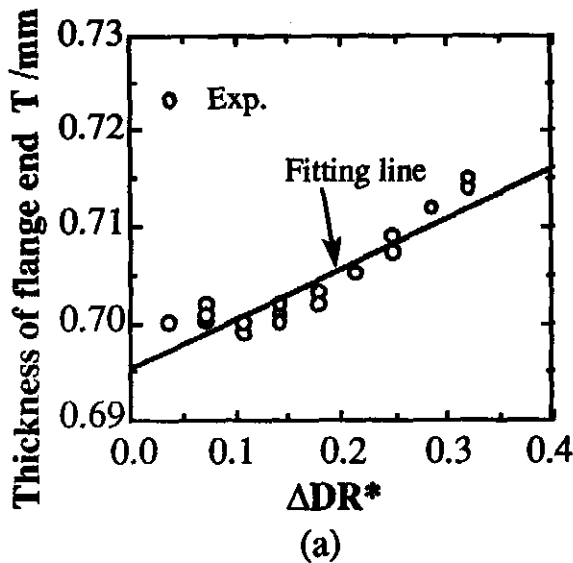


図2 N. N. の学習に用いる T- ΔDR^* 曲線と P- ΔDR^* 曲線

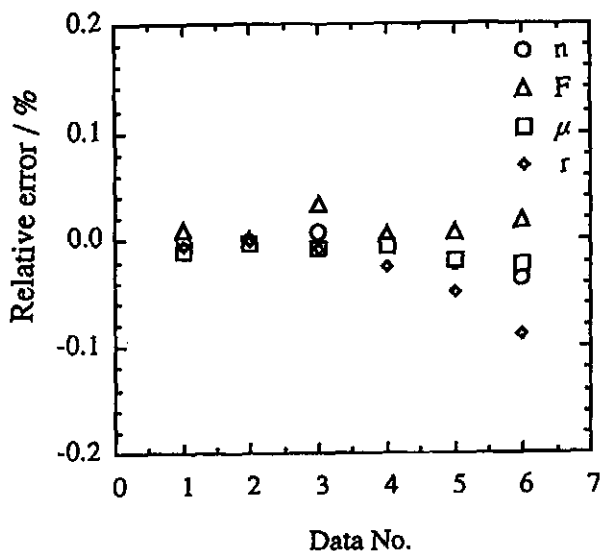


図3 深絞り実験データベースを基としたニューラルネットモデルによる材料特性の同定結果 (相対誤差)

要素はパンチ力Pの傾きと切片、及びフランジ端の肉厚tの傾きと切片、計4種類である。教師データは材料特性値 (n 値、F 値、r 値) 及び摩擦係数 μ である。50万回の学習の結果、トータル誤差は0.012であった。図3に示すように実験データを代入した同定結果を相対評価で表示した場合には、その精度は0.1%以内であり、極めて高精度の同定ができていくことがわかる。

以上より、材料特性等をインプロセスで高精度にセンシングする場合には信頼性の高いデータベースを構築し、それを基にN. N. を学習させる方法が有効であることが明らかになった。その場合、精度はデータベースの質に依存する。

3. データベースを応用した

ファジィ制御による最適絞り加工

絞り行程中に材料特性等の同定行程を設ければ、その加工は実際に中断されるため、最適加工は基本的に困難さが伴う。そのため、できるだけその行程を短縮もしくは省略することが必要となる。ここではその同定行程が不要となるファジィ制御による最適加工について検討する。

円筒深絞りにおけるアルミニウム合金A5182-0の実験データベースは、blank径を3条件、潤滑条件を2条件、加工条件はしわ抑え力を2条件、パンチ速度を2条件としたミニデータベースを構築した。

メンバーシップ関数はしわ抑え力の関数とし、絞り行程中を前期、中期、後期の3ステージに分割した。blankのあらゆる寸法、材料特性に対応できるようにするため、成形尺度は次の正規化したフランジ端減少率 ΔDR^* を導入した。

$$\Delta DR^* = (R_0 - r_0) / (R_0 - (r_2 + r_d)) \quad (1)$$

なお、板厚不変とした理想変形を考えた場合、変形中のフランジ端半径 r_0 は幾何学的関係より、

$$r_0 = \sqrt{\frac{(V_0 - V_b - V_d)}{\pi T} + (r_2 + r_d)^2} - \frac{(r_1 + T)^2 - r_1^2}{T} (H - r_d - r_p) \quad (2)$$

となる。また、パンチストロークhは無次元パンチストローク h/H を用いた。ただし、幾何学的関係からHは、次のよ

うに表される。

$$H = \frac{T((r_2+r_p)^2 - r_0^2) + (V_0 - V_b - V_d)/\pi}{(r_1+T)^2 - r_1^2} + r_d + r_p \quad (3)$$

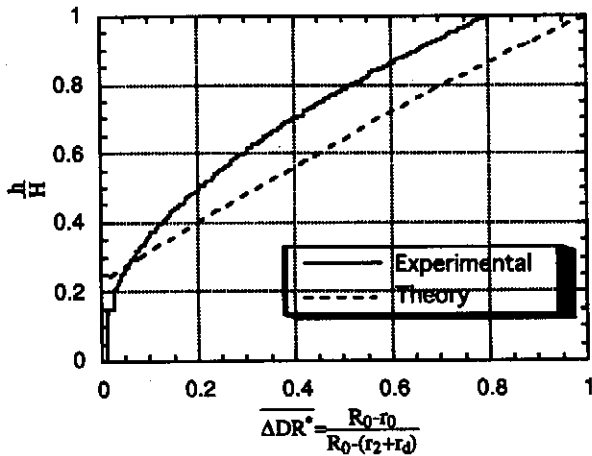
肉厚 T は初期肉厚 T_0 で無次元化し T/T_0 を用いる。
 以上の三つの変数、パンチストローク $h/H - \Delta DR^*$ 曲線、
 板厚 T/T_0 をインプロセスで監視し、肉厚不変を満たすし
 わ抑え力をファジィ理論を用いて制御した。具体的な例と
 して、アルミニウム合金 A5182-0 をパンチ速度 10mm/
 min、しわ抑え力 0.05tf、blank 径 65.5mm の条件で円
 筒絞りしたときの、 h/H 及び T/T_0 と ΔDR^* との関係
 を図 4 に示す。データベースから最適化したメンバーシップ
 関数 (図 5) を用いて、行程中のしわ抑え力をファジィ制
 御したときの出力を図 6 に示す。本結果は実験結果と良い対

応関係を示している。他の潤滑条件や blank サイズに対
 しても、同様な結果が得られており、本ファジィ制御が加
 工条件や blank の寸法等の変更・変動にも極めて高い柔
 軟性を持ち、かつ高い信頼性をも持ち合わせていることが
 確認された。

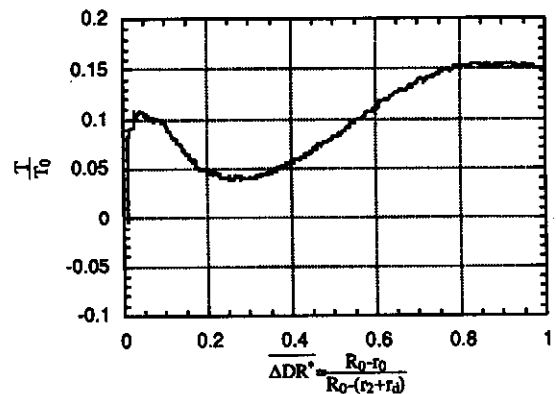
4. 結 論

データベースを基にした AI 制御として、材料特性等のセ
 ンシングシステムとファジィ制御による最適絞り加工の二
 つについて検討した。その結果、

- (1) データベースに要求される項目としては素材の材料特
 性値及び加工条件と成形性値との関係だけでなく、よ
 り詳細な行程中の情報、例えば、フランジ端の肉厚、パ
 ンチストローク及びパンチ荷重の変化特性などが高精度
 加工を行うために必要なデータであることが明らかと
 なった。



(a) h/H



(b) T/T_0

図 4 円筒深絞り実験のパンチストローク (h/H) - フランジ端減少率曲線 (ΔDR^*) と
 フランジ端肉厚 (T/T_0) - フランジ端減少率曲線 (ΔDR^*) (A5182-0 材)

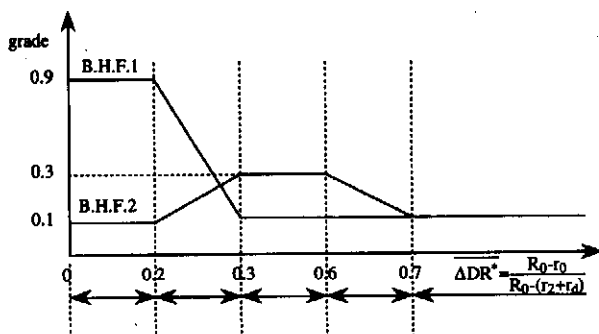


図 5 深絞り実験データベースによる最適化メンバーシップ関数

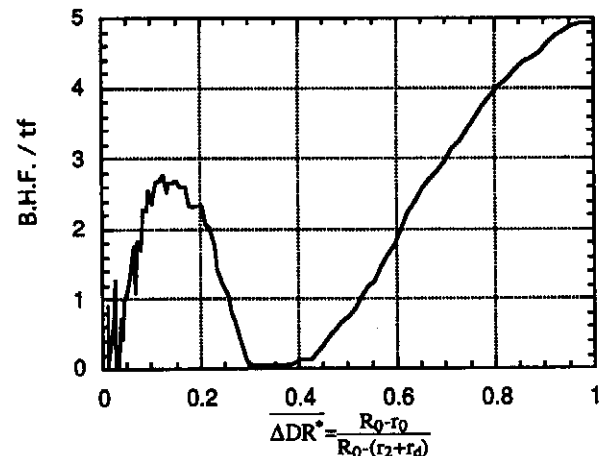


図 6 ファジィ制御深絞りにおけるしわ抑え力の変化
 (A5182-0 材)

- (2) それらの質の高いデータベースを用いて、N. N. で学習させることで高精度の材料特性のインプロセスセンシングが可能となることがわかった。
- (3) データベースを用いたファジィ制御の最適化によって、高い柔軟性と信頼性を持つ絞り加工システムを開発した

なお、データベースの項目を増加した場合にはその規模が膨大となりすぎるため、データの更新方法と併せて問題となる。これらは今後の課題としたい。

謝 辞

本研究を行うに当たり、(財)天田金属加工機械技術振興財団より助成を受けたことを記して、深く感謝いたします。

文 献

- 1) 真鍋・添田・長島・西村：塑性と加工, 33-375 (1994) 423.