

(株) ジャパンテクニカルソフトウェア ○手島 昌一, 金沢 良次

粉末材料のプレス加工は、精密部品の製造方法として多く適用されているが、工程条件がわずかにばらついただけで製品品質が劣化することがあるため、高精度な圧力の管理および制御が必要となる。

本研究ではプレス圧力をリアルタイムで計測し、マハラノビス距離を適用して圧力条件の変化を検出する手段を開発した。その結果、わずかな加工条件の変化を感度よく検出可能であることを確かめた。

1. はじめに

粉体プレス加工では、型に装填された粉末材料を数トン～20トン程度の高圧でプレス成形する。一般に、プレス工程は、粉末材料装填→プレス→型抜き→計量というサイクルで実行されているが、機械装置の状態などさまざまな加工条件の微妙な変化により精度が劣化する。そのため、この劣化あるいは変化を検出して、プレス条件を制御する必要がある。従来は変化検出のために、製品重量を精密秤で計量することが多かったが、計測精度やタクトタイムの問題があり、より効果的な検出方法が必要とされている。

本研究では、プレス圧力をロードセルによりリアルタイムに計測し、その波形から得られる特徴量を用いて、マハラノビス距離により加工条件の変化を検出することとした。なお、本研究で対象とした部品は、外形15mm、内径12mm、高さ20mmの円筒形状であり、材料は鉄銅系、要求精度は内外径とも $\pm 25 \mu\text{m}$ である。

2. プレス圧力の計測

0～10トンのプレス圧力をリアルタイムに計測するため、図1に示すようにプレス機にロードセルを取付け、その信号をADおよびP I Oを経由してパソコンに5,000 サンプル/秒で取り込んだ。ノイズは、メジアン法により平滑化した。

3. 圧力波形および特徴量の抽出

圧力波形は、図2に示すような形が得られた。また、数百個のデータを採ると、この波形はプレス成形ごとに微妙に異なることが分かった。ピークレベル、幅、傾きなど一つひとつのデータ全てに差異がある。そして、正常な加工が行われた場合と、寸法精度の低下など非正常

加工の場合とでも、特徴的な差異が存在することが分かった。この差異は、人間にとっては波形パターンの違いとして認識可能な場合もあるが、データとしては波形の高さあるいは傾きなど、複数の要素で記述されると考えられる。本研究では、こうした複数要素で記述される差異を統計的に分析することとした。

そこで、加工不良時に存在する正常波形との相違を抽出するために、図2に示すように数種類の特徴量を抽出した。すなわち、① 波形高さH ② 半値幅W1 ③④ 半値幅が波形中心で分割される値W2, W3などである。W2, W3 は波形の傾きの指標として定義したものである。表1にこのようにして求めたデータの例を示す。

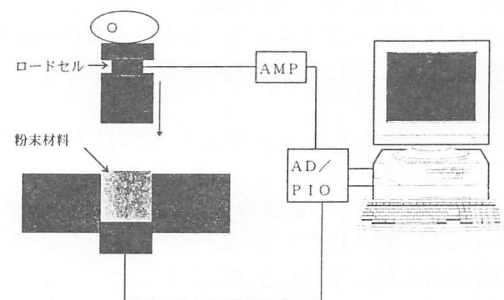


図1. プレス成形装置と圧力の計測

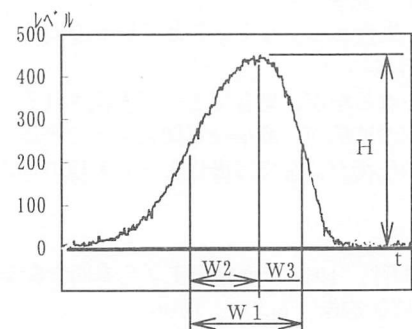


図2. 圧力波形と特徴量の抽出

表1. 圧力波形から得られた特性値

	H	W 1	W 2	W 3	...
1	447	357	191	166	
2	462	344	188	156	
3	464	349	192	157	
..	..				

これらの特徴量を用いて加工条件変化の検出を行うが、そのために全ての成形加工品について焼結後の製品寸法を計測し、それに基づいて圧力波形を正常加工と非正常によるものとして分類した。正常加工による波形特徴量はばらつきはあっても、均質であろうと予想される。それに対して、非正常品波形はさまざまな原因により正常品と異なる様相を示すと予想される。

4. マハラノビス距離と加工条件変化の検出

正常加工波形の均質性を前提として、これから以下の式によりマハラノビス空間を定義する。マハラノビス空間は、k次元（この場合k=4）、n組の正常データから平均値 m_1, m_2, \dots, m_k 、標準偏差 $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k$ を求め、さらに相関行列Rを計算することにより得ることができる。

$$R = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & \dots & r_{2k} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

$$r_{ij} = (\sum \chi_{i1} \times \chi_{j1}) / n \quad (1 : 1 \sim n)$$

χ は実データを規準化することにより求められる変数である。

そして、任意の対象データ組 $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_k)$ のマハラノビス距離 D^2 は

$$D^2 = Y^T R^{-1} Y / k$$

で求められる。

このようにして計算したマハラノビス距離は、対象とするデータが正常である場合は1.0に近い値をとり、正常とは言えない場合には1.0よりもかなり大きな値をとり、大きいほど正常である確率が小さくなる。

表2. 正常品と非正常品波形のマハラノビス距離

表内は上段のマハラノビス距離となった個数を示す。

	0~0.5	~1.0	~1.5	1.5~
正常品	157	219	112	6
非正常品	0	0	1	5

5. 実験結果

500個のプレス加工、焼結加工を行い、圧力波形と製品完成後の寸法精度を計測した。この実験では精度規格を外れるものは得られなかったが、精度が極めて良いものを正常として494個選定し、精度のやや劣るもの6個を非正常品として得た。さらに、正常データの中から300個の優良データによりマハラノビス空間を求め、500個全てについて距離を求めた。その結果を表2に示す。

この表に示すように、正常加工では圧力波形のマハラノビス距離は、ほとんどが1.5以下であり、非正常加工では6個のうち5個が1.5以上である。このように、正常加工と非正常加工とが非常に良く検出できていることが分かる。したがって、プレス加工時のマハラノビス距離を求めることにより、成形加工が正常に行われたか否かを検出することができ、正常状態から外れかかっている際には、加工条件を変更（制御）するなどの措置が可能となる。

6. まとめ

プレス圧力波形から特徴量を求め、マハラノビス距離によって加工が正常に実施されたか否かを精度よく検出可能なことを確かめた。したがって、この結果を基に制御量を求め、加工条件を最適に制御可能と考えられる。

参考文献

兼高達式, マハラノビス距離の応用例 特殊健康診断の事例; 標準化と品質管理, vol.40, No.10, 1987