

6G-3

鍛造工程案生成システムの試作

高田 修, 山崎知彦, 中西広吉, 団野 敦  
 (株)豊田中央研究所

1. はじめに

鍛造製品の多様化にともない、工程設計の高能率化やレベルアップなどに対するニーズが高まっている。工程設計は、鍛造に関する知識やノウハウを多く持った領域専門家によっておこなわれている。そのため、知識工学の手法を用いて自動化をはかる研究がいくつかなされている。現在開発されているこの種のエキスパートシステムの多くは、予めシステム内に実績のある工程案を蓄積し、類似性を基に案を作り出す知的検索システムである<sup>[1][2][3]</sup>。そのため、品質の高い案を高速に生成できるが、一方、取り扱う製品形状に対する自由度が低い。そこで、本研究では、取り扱う製品形状の自由度が高いシステムを開発することを目的としている。今回、軸対称中実製品を対象とする冷間鍛造工程案生成システムのプロトタイプを試作したので報告する。

2. 鍛造加工

鍛造加工とは、素材をプレスで複数回加工し、中間形状を経て製品を作り出すことである(図1)。

鍛造工程設計とは、製品形状が与えられたときに、中間工程の形状・寸法・加工法および素材の寸法を決めることである。

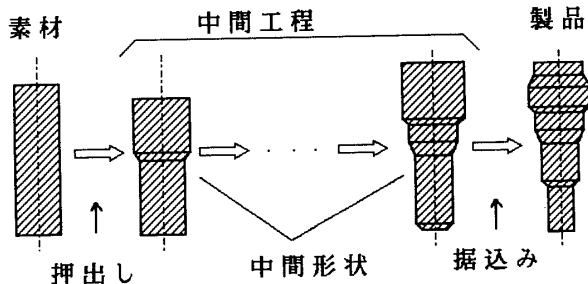


図1. 鍛造加工

3. システム概要

3. 1. システムの考え方

システムでは、製品および中間形状をPE (Primitive Element) と呼ばれる断面形状の基本要素(図2)の並びで表わす。例えば、図1の製品は、[c1, t11, c1, tu1, c1, tu1, c1, tu1, c1]と表現される。

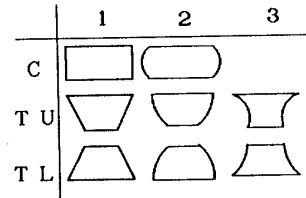


図2. PE一覧

システムでは、加工による形状変換の知識をEP (Element Pattern) として表現している。EPは、一回の加工により変形される後の形状であり、前形状(加工前の形状)およびそれに対応する加工法を持ち、PEの並びで表わされる。

システムは、中間形状の生成を繰り返すことにより、製品から素材にいたる工程案を作り出す。中間形状の生成は、図3に示すようにおこなわれる。初めに、製品または中間形状をPEのパターンマッチングによりEPに分割する(EP分割)。次に、加工に関する制約などを満たすように、各EPの前形状と加工法を決定する(前形状変換)。最後に、変換された各前形状を合成する(前形状合成)。

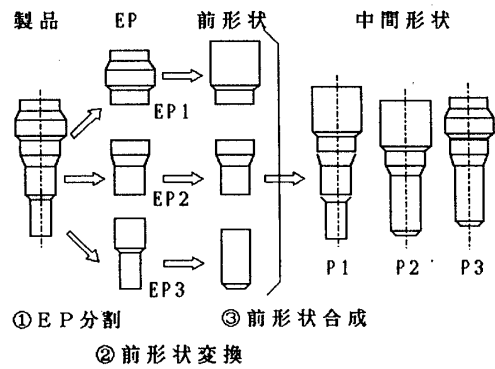


図3. 中間形状の生成

システムには、実績のあるEPと前形状およびそれに対応する加工法が登録されているため、EP分割および各EPに対する前形状が複数考えられる。従って、1つの製品または中間形状から複数個の中間形状が生成される。また、生成される中間形状の中には、他の製品または中間形状から生成されたものと同じ形状になるものがある。

例えば、図3のEP1, EP3を同時に変換すると中間形状P2が生成される。一方、図3のEP1だけを変換するとP1が生成され、さらに、P1の1番下のEPだけを変換するとP2と等しい中間形状が生成される。

3. 2. 探索手法

システムは、横型優先探索により、ある深さ（ユーザーが指定する）までの考えられる全ての工程案を生成する。工程案の生成は、中間形状をノードとするネットワークを作成し、ネットワークを逆向きにたどることによりおこなわれる。

◆ネットワークの作成

EPの前形状への変換を部分的におこなうことにより、上記のように、ノード（中間形状）Qから生成されるノードRがQ以外のノードから生成されたPと等しくなることがある。この場合、ノードPとRを1つにまとめて管理することにより、システムは、探索の効率をあげる。

<例> P<sub>0</sub>からP<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>という3つのノードを生成し、同様にP<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>からP<sub>4</sub>~P<sub>12</sub>を生成し、しかも、P<sub>2</sub>=P<sub>6</sub>=P<sub>10</sub>, P<sub>5</sub>=P<sub>7</sub>, P<sub>9</sub>=P<sub>11</sub>であるとき（図4のツリー）、システムは、同じ形状を表わすノード（図中の同一記号のもの）をまとめる（図4のネットワーク）。

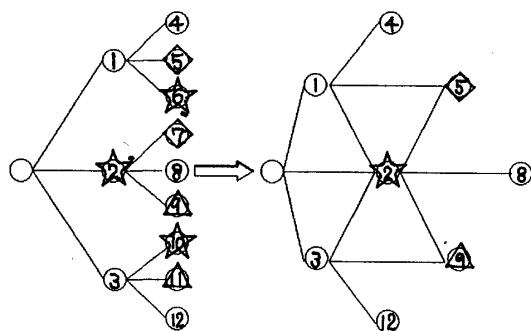


図4. 探索空間

◆工程案の探索

工程案は、EP分割、前形状変換、前形状合成という一連のプロセスで生成されたネットワークを逆向きにたどることにより求められる。例えば、図4のネットワークにおいて、P<sub>5</sub>が素材のとき、次の4つの工程案を生成する。

- (1) P<sub>5</sub> → P<sub>1</sub> → P<sub>0</sub>, (2) P<sub>5</sub> → P<sub>2</sub> → P<sub>1</sub> → P<sub>0</sub>
- (3) P<sub>5</sub> → P<sub>2</sub> → P<sub>0</sub>, (4) P<sub>5</sub> → P<sub>2</sub> → P<sub>3</sub> → P<sub>0</sub>

4. 実行結果

典型的な冷間鍛造製品例（図5）について実行した。生成された案の数および中間形状の数を表1に示す。また、生成された案の一例を図6に示す。

<例題1> <例題2>

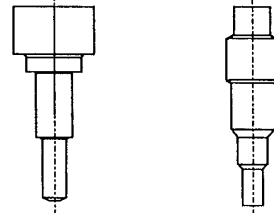


図5. 入力製品

表1. 生成された工程案と中間形状数

| 例題  | 工程のステージ数 |    |     |     | 中間形状 |
|-----|----------|----|-----|-----|------|
|     | 3        | 4  | 5   | 6以上 |      |
| 例題1 | 0        | 12 | 24  | 0   | 36   |
| 例題2 | 8        | 94 | 211 | 109 | 46   |

5. 評価

加工の基本単位であるEPを取り入れ、EP分割、前形状変換、前形状合成という一連のプロセスを繰り返すことにより、工程案を生成することができる。本システムは、取り扱う製品形状の自由度が高い。また、数多く工程案を生成するため、新規工程案を発見する可能性が高いという特長をもっている。その反面、生成された工程案を評価し、絞り込む必要があるという問題点を持っている。

6. まとめ

冷間鍛造工程案生成システムのプロトタイプを製作した。例として、典型的な製品例に適用した結果、実現性のある工程案を生成することができた。

今後は、案の絞り込みやの取り扱い範囲（中空製品など）の拡大などの課題を解決し、実用化をはかる。

<参考文献>

- [1] 小坂田宏造 : 昭62春塑加講論(1987)489
- [2] 松尾正彦他 : 昭63春塑加講論(1988)513
- [3] W.A. Knight他: Annals of CRIP 37, 1(1988)243

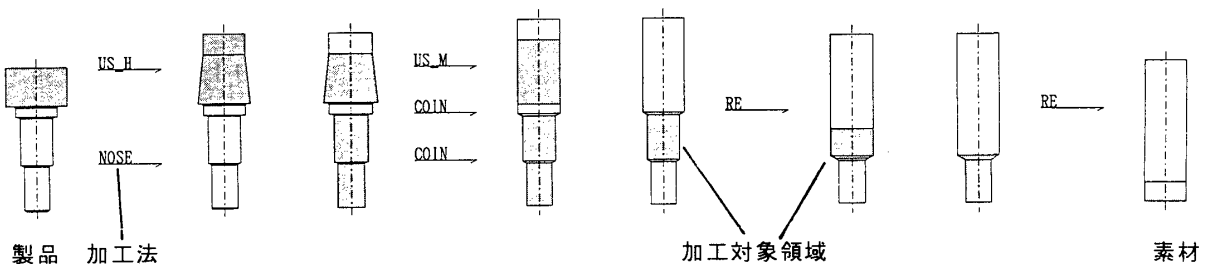


図6. 工程案例(例題1)