

多軸複合押出しに関する研究・第3報 ——金属的・機械的接合 (MMB) の数値シミュレーション——

Study on Complex Extrusion of Multi Billets • 3

木 内 学*・星 野 倫 彦*

Manabu KIUCHI and Michihiko HOSHINO

1. 緒 言

筆者らが研究を進めている多軸複合押出し法は、複数組のコンテナ、ステム（ポンチ）を用いて、同種または異種の被加工材を並列的に同一ダイス内に押出し、合流・接合・一体化して、目的とする製品を得ようとする加工法^{1,2)}である。前報²⁾では、異種の被加工材を2枚の矩形断面を有する平板状に押出しつつ、それらの端面を接合境界面として、一体化させることを目指した実験と、接合が完了することを前提とした数値シミュレーション結果とを報告した。その際、併せて被加工材間の接合力を高めることを目的とした金属的・機械的接合法：(MMB法)を提案し、実際に、新たに設計した工具（ダイス、フローガイドブロック等）を用いて被加工材間の界面の形状を制御した複合材を多軸複合押出し加工により得ることができることを示した。

本報では、このMMB法に関して、接合が達成される場合だけでなく、達成されない場合をも含めて、被加工材の変形挙動を解析しうる方法を提案し、MMB法により異種の被加工材を接合・一体化させるのに望ましい加工条件を調査したので、その結果を報告する。

2. MMB法による押出し実験

図1には、MMB法により鉛と錫を押出し、一体化した複合材とする実験の概略を示す（実験詳細は前報²⁾参照）。この場合の鉛と錫の変形抵抗は、加工ひずみの範囲の積分平均で評価して、鉛19.6MPa、錫49.5MPaであり、変形抵抗比が大きいので、平面状の接合界面をもって良好に接合した複合材を押出すことは難しい。ダイス内で両被加工材が合流する部分にフローガイドブロックを取り付け、接合界面の形状を制御して一体化された製品を得ることに成功した。

図2には、得られた製品の横断面の写真を示し、図3には、2本のビレット中心軸を含む被加工材の縦断面の

*東京大学生産技術研究所 第2部

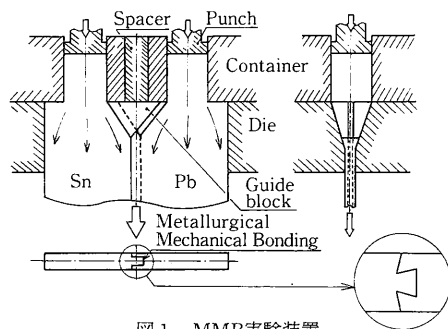


図1 MMB実験装置

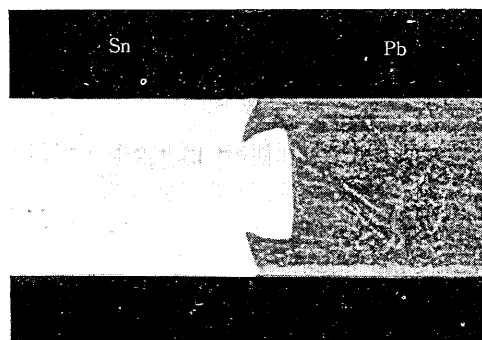


図2 MMBを達成した製品の横断面

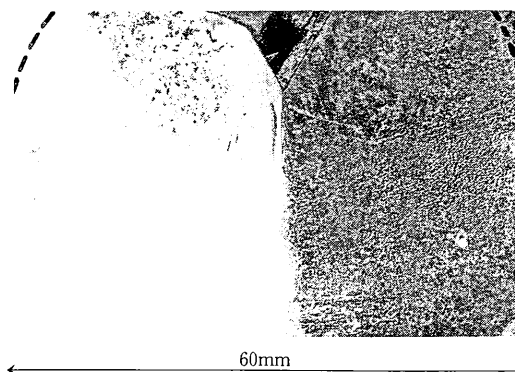


図3 MMBを達成した製品の縦断面

研究速報

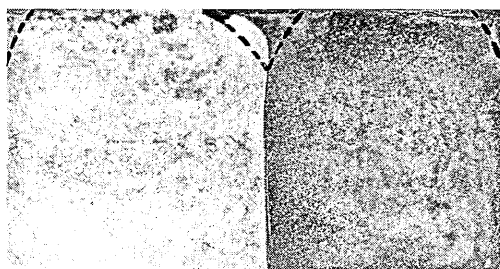


図4 ガイドブロックを用いない場合の押し製品の縦断面

写真を示す。このように、接合界面の形状を制御することにより、良好に接合した複合材を得ることが可能である。しかし、フローガイドブロックを用いない場合には、一般に接合界面の位置そのものを制御できなくなる。すなわち、各押し条件因子の影響を受け、一方の被加工材が他に先行して押し出されるようになり、接合そのものができなくなるか、または接合できたとしても界面位置が変化し、製品断面寸法が設計値どおりにはならないのが普通である。たとえば、図4に示すように、接合界面の位置が移動して、鉛側が狭く錫側が広くなり、鉛が先に押し出されて接合不能となり、一体の製品が得られない。

以下、押し加工条件が製品の接合界面位置や押し加圧力に与える影響を調査し、良好な接合を得るための条件について検討した結果を示す。

3. 解析モデル

前報²⁾において、多軸複合押しを対象とする解析モデルを提案したが、本報ではこの解析モデルを、2つの被加工材の間にフローガイドブロックを取り付けた場合をも解析するように拡張した(図5参照)。フローガイドブロックの左右の側面に沿って押し出されてくる被加工材は、フローガイドブロック先端で合流する。合流時の界面形状は、フローガイドブロックの形状に依存するが、この界面形状は合流後の変形により変化して、製品の最

終接合界面形状となる。解析においては、この合流してからダイス出口に至るまでの両被加工材間の界面形状について、以下の仮定を導入した。

(1)合流後の界面形状の押し出し方向に見た変化は、ダイスアプローチ部出口(図5の $y=DL1$)で完了し、ダイスベアリング部内では変化せず、そのまま製品の接合界面形状となる。

(2)合流開始位置からダイスアプローチ部出口までの界面の形状は、直線を要素とする曲面で表され、それらの直線の幅方向(製品幅方向)への変位量は、おのおの等しく、その値を $E2$ とする(図5参照)。

(3)上述の直線の厚さ方向(製品厚さ方向)の変位は、フローガイドブロック先端における同方向の相対位置が変わらないように発生するものとする。

以上の仮定により各被加工材の接合界面形状を含む表面形状が決まり、既報²⁾で示した手順に従って、速度場を構成することができる。この速度場から全仕事率を算出する際の仮定として、

(1)被加工材間のすべり摩擦仕事率は、軟質材の変形抵抗を用いて計算し、その値を先進している側の被加工材の仕事率に加える。

(2)被加工材は、ダイス出口より真直に押し出され、曲がり・ねじれを生じず、ダイス出口より外での塑性変形がないものとする。

多軸複合押し法により良好な製品を得るためには、被加工材間のダイス出口での速度比($V_{out2} \cdot V_{out1}^{-1}$)は基本的に1でなければならない。この状態が実現するためには、解析モデルにおいて被加工材間の接合界面位置を表すパラメータ $E2$ が、各被加工材に加わるポンチ速度や減面率によって定まる一定の範囲内に入ることが必要である。したがって、このパラメータ $E2$ に関する条件を満足する加工条件を探索することにより、良好な接合が達成可能な加工条件の範囲を求めることができる。

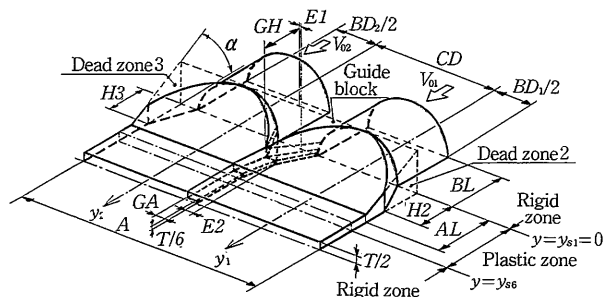


図5 解析モデル

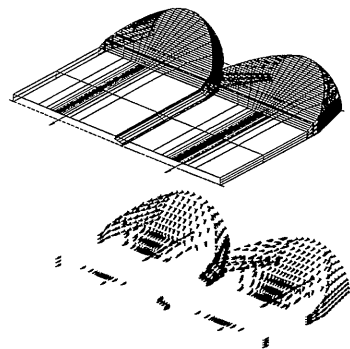


図6 解析により得られた塑性域形状と速度分析

研究速報

4. 実験結果と解析結果との比較検討

図 6 には、解析により得られた被加工材内部の塑性域

表 1 計算条件一覧

$BD_1 = BD_2 = 20\text{mm}$, $BL = 50\text{mm}$, $A = 60\text{mm}$, $T = 4\text{mm}$,
 $V_{01} = V_{02} = 1\text{mm/sec}$, $\alpha = 30^\circ$, $CD = 34\text{mm}$,
 $m_1(\text{Die, Guide block}) = 0.4$, $m_2(\text{Container}) = 0.3$

Case	Y_{m2}/Y_{m1}	GH/BD_1	GA/BD_1	GE/BD_1
I	1.0	0.5	0.1	0.0
	2.0			
	2.5			
	3.0			
	5.0			
II	2.5	0.25	0.1	0.0
		0.4		
		0.5		
		0.6		
III	2.5	0.5	0.0	0.0
			0.05	
			0.1	
			0.15	
			0.02	
IV	2.5	0.5	0.1	-0.05
				0.0
				0.05
				0.1

形状と速度分布の例を示すが、フローガイドブロックに沿って被加工材が流動し、合流し、一体の製品となって押出されていく様子が分かる。また合流後、硬質材である錫（図中左側）が軟質材である鉛側（図中右側）に広がっていることも分かる。

図 7 には、実験と解析により得られた荷重—ストローク線図の例を示す。解析結果は、ダイス内に被加工材が充満し定常押出し状態になったと考えられる場合について計算したものである。実験結果と解析結果は、各ポンチに作用する押出し加圧力、および全押出し加圧力に関して、良い対応を示している。図 3 より接合界面位置 $E2$ の実測値は、 -0.8mm である。一方解析では $E2 = -0.46\text{mm}$ (図 8 参照) となり、実測値に比して $E2$ の値を過小評価する結果となっている。その原因としては、解析では各被加工材が異なる速度でダイス出口から流出することを許容しているのに対して、実験では MMB による接合力が働き、ダイス出口で両被加工材が一体化して押出されてきていることが考えられる。実際の両被加工材の接合・一体化の挙動を的確に把握するためには、この場合、接合界面での機械的拘束力を考慮する必要があるが、現時点では機械的拘束力の推定が困難なため、本解析ではとりあえず考慮していない。

5. 解析条件

被加工材間の接合に影響を与える因子として、両被加工材の変形抵抗比 ($Y_{m2} \cdot Y_{m1}^{-1}$)、フローガイドブロックの寸法 (長さ: GH , 段差: GA , 先端位置: GE) を選

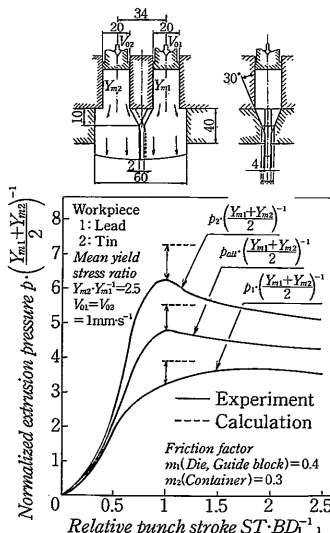


図 7 ガイドブロックを用いた場合の荷重—ストローク線図

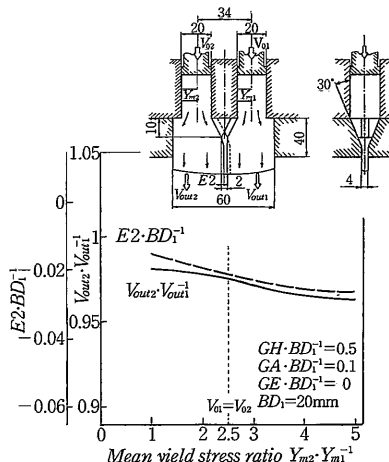


図 8 変形抵抗比が合流界面位置と出口速度比に与える影響

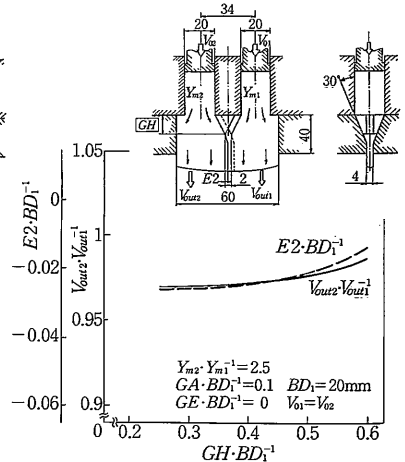


図 10 ガイドブロック長さが合流界面位置と出口速度比に与える影響

研究速報

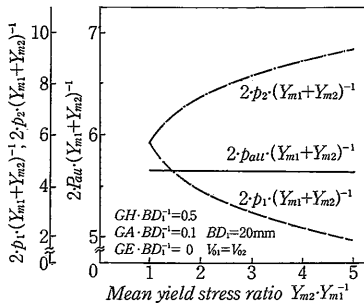


図9 変形抵抗比が押し加圧力に与える影響

び、表1に示す一連の解析を行った。なお、フローガイドブロックの寸法のうち、段差と先端位置の影響に関しては、紙面の都合により省略したので、文献4)を参照していただきたい。解析条件として、ピレット直径、ピレット長さ、製品幅、製品板厚、ポンチ速度、ピレット中心軸間距離、ダイス半角は、実験条件と等しくしてある。摩擦係数は、ダイス面とフローガイドブロック面で $m_1=0.4$ 、コンテナ面で $m_2=0.3$ とした。

6. 解析結果

6.1 変形抵抗比 ($Y_{m2} \cdot Y_{m1}^{-1}$) の影響

図8には、変形抵抗比 ($Y_{m2} \cdot Y_{m1}^{-1}$) を変化させた場合の接合界面位置 ($E2$) とダイス出口での速度比 ($V_{out2} \cdot V_{out1}^{-1}$) の変化を示す。変形抵抗比が大きくなると、接合界面位置は軟質材側に移動し、製品横断面における軟質材の断面積比が小さくなる。すなわち、その減面率が大きくなるために、硬質材よりも先進して押出されることが分かる。また、変形抵抗比が1の場合にも、接合界面位置が対称面 ($E2=0$) 上になく一方にずれている原因は、フローガイドブロックの形状が左右非対称なためと考えられる。

図9には、変形抵抗比 ($Y_{m2} \cdot Y_{m1}^{-1}$) を変化させた場合の、各ポンチに作用する押し加圧力と全押し加圧力とを示す。変形抵抗比が増加すると硬質材側のポンチの押し加圧力が増加するが、その増加の割合は変形抵抗比の増加の割合よりも小さい。これは、変形抵抗比の増加とともに接合界面位置が移動し、硬質材の減面率が減少して、変形抵抗の増加による押し加圧力の増加を緩和するためと考えられる。

6.2 フローガイドブロック長さ (GH) の影響

図10には、フローガイドブロック長さ (GH) を変化させた場合の、接合界面位置 ($E2$) とダイス出口での速度比 ($V_{out2} \cdot V_{out1}^{-1}$) の変化を示す。フローガイドブロッ

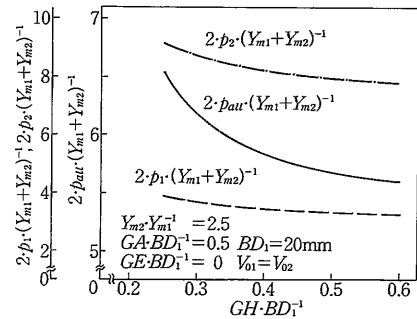


図10 ガイドブロック長さが押し加圧力に与える影響

クを長くすると、接合界面位置は対称面方向に移動し、ダイス出口での速度比が1に近づくが、ダイスアプローチ部内にある合流後の界面の面積が減少し、そこに作用する法線方向応力すなわち、界面に作用する面圧も減少することが考えられ、接合に対して必ずしも好ましい状態であるとは思われない。図11には、フローガイドブロック長さ (GH) を変化させた場合の、各ポンチに作用する押し加圧力と全押し加圧力とを示す。ガイドブロックが長くなると、被加工材が合流する際の流線の折れ曲がり角が小さくなり、ぶつかり合う際の速度変化が小さくなるために、全押し加圧力ならびに各ポンチに作用する押し加圧力が減少する。両被加工材間の接合を促進するために、合流点および合流後の界面に作用する面圧を望ましい水準以上に保つことが必要であり、そのためには全押し加圧力を一定水準以上に保つことも必要であると考えられるため、フローガイドブロック長さとしては適切な値を選ぶ必要があることが分かる。

7. 結 言

多軸複合押し法、特にMMB法を用いた複合材の製造について、数値シミュレーションによる検討を加え、良好な接合を達成するために望ましい加工条件について考察した。その結果、MMB法を適用する際のフローガイドブロックの設計に対して有用な知見を得た。今後、MMB法を発展させた押し技術の開発を目指し、数値解析ならびに実験とによる検討を進める予定である。

(1990年4月27日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・星野：平元春塾加講論 (1989), 555.
- 2) 木内・星野：40回塾加連講論 (1989), 261.
- 3) 木内・星野ほか：塑性と加工, 30-336(1989), 43.
- 4) 木内・星野：平2春塾加講論 (1990), 発表予定.