

# 繊維／マトリックス界面層の導入による 連続繊維強化金属の塑性加工

千葉大学 工学部 機械工学科

助教授 浅沼 博

(平成3年度研究開発助成 AF-91016)

## 1. はじめに

連続繊維強化金属複合材料は優れた特性を有する割には実用化が進んでいない。これまでは、一般にニア・ネット・シェイブ成形による可動構造材料を指向してきたが、今後は、より機能的である事を重視して実用化に結び付けていくことが必要である。そのための一つの試みとして、連続繊維強化金属複合材料の曲げ加工を可能とするために繊維／マトリックス界面に界面層を形成させることを提案し、さらにその形成方法についても検討してきた<sup>1),2)</sup>。本研究では、その検討の結果採用した溶射法により繊維／マトリックス界面に低融点のZn-Al共晶合金、Al-Cu共晶合金またはAl-Si共晶合金の界面層を形成させたアルミニウム基複合材料を作製し、それらの曲げ加工について検討した。

## 2. 供試材および実験方法

### 2.1 供試材

強化繊維として、直径0.14mmのSUS304ばね用ステンレス鋼線(日本精線(株)製)およびSiC<sub>CVD</sub>繊維(Textron Specialty Materials社製、SCS-2)を使用した。また、高機能性繊維として直径0.125mmの石英系単一モード光

ファイバ((株)フジクラ製)を使用した。マトリックス材としては30mm×60mmの純アルミニウム板(A1050P-0)を使用した。界面層形成用の溶射素材としては、ワイヤー状の純亜鉛、純銅および粉末状のAl-12mass%Si共晶合金を使用した。

### 2.2 複合材料の製造

複合材料製造法の概略を図1に示す。まず、界面層を簡便に形成させるためアルミニウム板に繊維径より大きな先端径(0.18mm)のU溝を付ける。次に、アルミニウム板の接合面およびU溝内に厚さ約50μmの溶射層を形成させ、強化繊維とともに積層後、ホットプレスに供する。Zn-5mass%Al共晶合金、Al-33mass%Cu共晶合金、Al-12mass%Si共晶合金のそれぞれの界面層を形成させかつアルミニウム板同士を接合させるためのホットプレス条件等は、表1に示す通りである。Zn-Al共晶合金の場合にステンレス鋼線を用いたのは層間接合強さを高めるためであり、それ以外の場合にステンレス鋼線を用いなかったのはZn-Al共晶合金の場合に比べ製造温度が高いために界面層と著しく反応し劣化するためである。

### 2.3 繊維引抜き試験

界面層が軟化することにより繊維がマトリックスに対し容易に滑る温度を調べるため、図2(a)に示すタイプの複合材料から単繊維引抜き試験片を作製し、高温において引抜き速度一定(0.017mm/s)で試験した。試験開始直後の引抜き荷重の最大値から臨界せん断応力 $\tau_c$ を求めた。

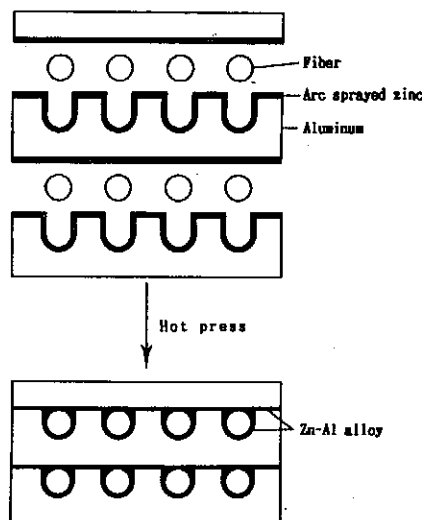


図1 複合材料製造法の概略

表1 それぞれの界面層形成に適する強化繊維およびホットプレス条件

界面層	強化繊維	ホットプレス条件		
		温度/K	圧力/MPa	時間/s
Zn-5mass%Al 共晶合金	SUS304	673	8.2	60
Al-33mass%Cu 共晶合金	SiC	828	8.2	60
Al-12mass%Si 共晶合金	SiC	853	8.2	10

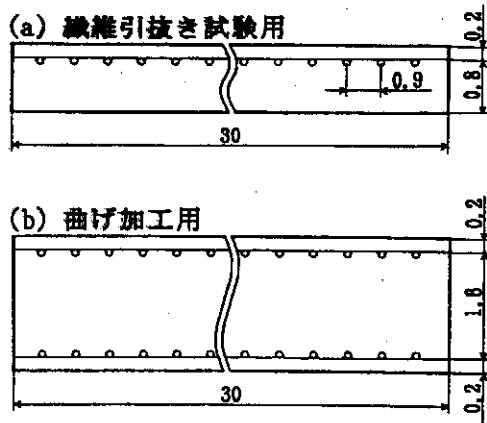


図2 作製した複合材料の横断面模式図

## 2. 4 曲げ加工

図2 (b) に示すタイプの複合材料を繊維と平行に幅8mmに切断し、その繊維方向の曲げ加工を先端半径5mmのポンチおよび90° Vブロックを使用して試みた。ポンチ降下速度は0.083mm/sで一定とした。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 繊維引抜き試験

界面層をZn-Al共晶合金、Al-Cu共晶合金またはAl-Si共晶合金とした場合の臨界せん断応力 $\tau_c$ の温度依存性を調べた結果、いずれの場合も $\tau_c$ はそれぞれの合金の共晶温度すなわち655K、821K、850K近傍で著しく減少し0に近付くため、繊維を破断させることなく複合材料の曲げ加工等ができるようになると思われる。

### 3. 2 曲げ加工

図3 (a) ~ (c) には、Zn-Al共晶合金を界面層とした複合材料を曲げ加工した時のポンチ荷重 $P$ -ストローク $L$ 線画を示す。図(a)、(b)には加工温度 $T$ をそれぞれ共晶温度より低い653Kおよび高い703Kに設定し加工した場合を示してある。図(a)の $P$ - $L$ 線図には、加工初期に繊維の破断・座屈による荷重の急激な低下が見られる。この場合、試験片はポンチに添わずに鋭く折れ曲がり、これは界面層が十分に軟化していなかったためと考えられる。これに対し図(b)では、荷重は加工の終盤まで低く一定している。この場合、試験片はポンチに添って滑らかに加工され、繊維はマトリックスに対して滑りを生じた結果、破断・座屈には至らなかった。さらに図(c)には図(b)の場合と同じ $T=703K$ において0.6ks保持後加工した結果を示してある。繊維は、曲げ加工中に破断・座屈することがわかる。これは、亜鉛とアルミニウムは相互に拡散し、かつその速度が大きいため、加工前の保持時に共晶相が消失したことによると考えられる。このことは、本複合材料は繊維

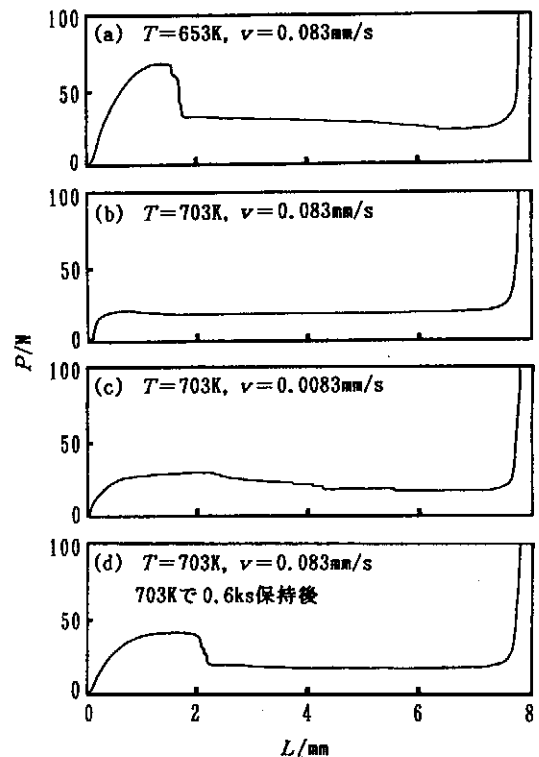


図3 界面層をZn-5mass%Al共晶合金とした複合材料を曲げ加工した時の荷重 $P$ -ストローク $L$ 線図

の強化効果を失う加工温度レベルにおいても、加工後の熱処理により十分強化されることを意味する。

同様に、界面層をAl-Cu共晶合金、Al-Si共晶合金とした複合材料についても曲げ加工を試みた。その結果、前者では813K、後者では833Kで加工した時に起きた繊維の破断・座屈はそれぞれ823K、863Kでは起こらなくなり、曲げ加工が可能となった。ただしこれらの複合材料については、曲げ加工が成功した温度ではアルミニウム板同士の接合面も軟化したため、それらの間にずれを生じた。またこれらの複合材料を熱処理により加工温度レベルにおいて強化することは困難であった。

光ファイバを複合化する場合には、光ファイバの引張強さは673K、873Kまでの昇温によってそれぞれ室温の約80%、約60%に低下するため、その製造温度は低いほうが望ましい。そこで、Zn-Al共晶合金を界面層とした複合材料を作製したところ、光ファイバの破断やマトリックスとの反応が無く光を良く透過する複合材料が作製できた。本複合材料もその界面層の機能により光ファイバを破断させることなく曲げ加工可能である。

本複合材料には、図4に示すような連続製造法により平板を量産後それを必要に応じて曲げ加工するという製造加工プロセスが適用可能であると考えられ、コストの低減も期待できる。

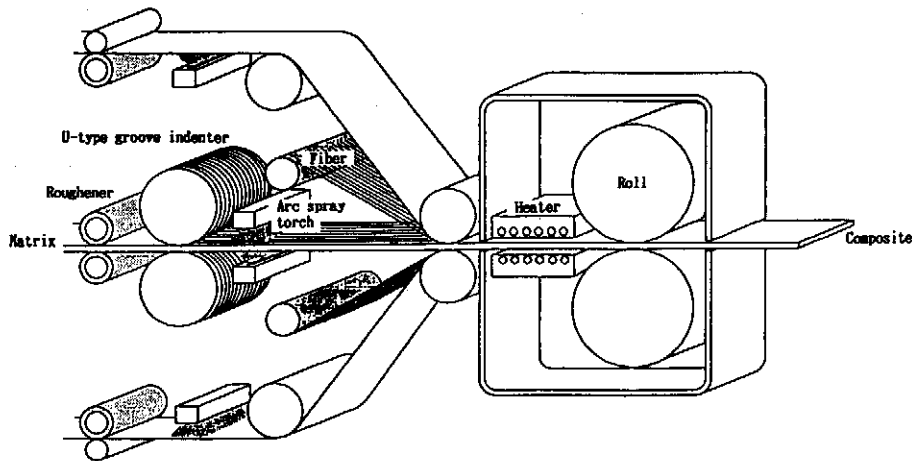


図4 連続製造法

#### 4. まとめ

曲げ加工可能な連続繊維強化金属複合材料の開発を目的としてZn - Al共晶合金、Al - Cu共晶合金またはAl - Si共晶合金からなる繊維/マトリックス界面層を形成させた連続繊維強化アルミニウム複合材料を作製し高温で曲げ加工等を試みた結果、以下の結論を得た。

- (1) いずれの界面層を形成させた場合も、それを溶融させることにより繊維を破断・座屈させることなく複合材料の曲げ加工が可能となる。
- (2) Zn - Al共晶合金の場合は、Al - Cu共晶合金、Al - Si共晶合金の場合と異なり、加工温度レベルにおいて界面層とマトリックスとの相互拡散により共晶相が消失するため速やかに曲げ加工することが必要であるが、加工後に加工温度に保持し共晶相を消失させれば、加工温度レベルにおいても強化される。

- (3) 界面層をZn - Al共晶合金とすることにより、光ファイバのような劣化しやすい繊維でも、アルミニウムとの複合化や複合化後の曲げ加工が可能となる。

#### 謝 辞

本研究は天田金属加工機械技術振興財団の研究助成を受けたこと、溶射に関して東京メタリコン(株)三辻稔氏の協力を得たことおよび日本精線(株)、(株)フジクラよりそれぞれステンレス鋼線、光ファイバを供給して頂いたことを付記し感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 浅沼・広橋：昭63春塑加講論，(1988)，175.
- 2) 浅沼・広橋・北川：42回塑加連講論，(1991)，1.