

アルミニウム／CFRP多層積層 ハイブリッド板材の各種成形にお ける成形限界と精度に関する研究

千葉大学工学部機械工学科

教授 川田 勝巳

(昭和62年度奨励研究助成 AF-87025)

1. 研究の背景

金属と炭素繊維強化プラスチック（CFRP）を複合化し、互いの機械的性質の欠点を改善した、軽量かつ高強度な積層材料が注目されている。本研究で対象とする材料は、極薄のアルミニウム板（板厚 0.1mm）と炭素繊維強化プラスチック板（CFRP、板厚 0.1mm）との多層積層板で、アルミニウム単一材料に比べ、その機械的性質を飛躍的に高めることができる新しいタイプのハイブリッド複合材料である。本材料は常温でもある程度の成形は可能であるが、130℃程度に加熱することにより、また、炭素繊維に対する曲げの方向を得らば、成形限界が著しく向上することがわかった。そこで、本研究では、V曲げと直交2方向に曲率を有するくらの型成形を対象として、これらの成形における、曲げ方向、加熱温度に対する、成形限界、成形品精度について実験的に検討した。

2. 研究の目的

一方向曲げの代表として、V曲げ成形を、2方向への成形の代表として、くらの型成形により、成形限界、成形品精度を検討する。

1) 既に検討した4点曲げの結果を参考にして、3種類の板厚について、4種類の先端半径のV曲げポンチ（図1）により、90°曲げを常温（冷間）と130℃の炉中（熱間）で行い、成形限界、精度に及ぼす曲げ方向、除荷温度の影響を調べる。

2) 直交する2方向の曲率半径が、それぞれ100mm、-100mmのくら形ポンチとダイス(図2)により、板厚1.0mmの試料を成形し、V曲げ同様、冷間、熱間における成形限界、精度に及ぼす曲げ方向、除荷温度の影響を調べる。

3) 炉中の成形は温度環境が一様で、ほぼ一定温度にあるが、それなりの設備を必要とする。そこで、簡便な方法として、V形、くら形ポンチ、ダイスに穴をあけ、カートリッジヒーターを通し、通電加熱による成形を行い、前記と同様の限界と精度を調べる。

3. 研究成果の概要

炭素繊維に対する曲げ野方向は、成形限界、成形品精度に大きな影響があり、繊維方向曲げ(曲げ線が炭素繊維の方向と直角)の場合は、成形限界は非常に低く、スプリングバックも成形温度とは無関係に非常に大きい。一方、繊維直角方向曲げにおいては、成形限界、精度ともに樹脂の状態に依存するため、冷間より熱間の方が、成形限界、精度ともに高い。さらに、成形後も荷重を保持し、除荷温度を常温に近づける程、スプリングバックが減少し、精度が高くなる。また、加熱方法も通電加熱方法を用いれば、炉中では成形できなかった厚い板も成形可能になった。このように、曲げの繊維に対する方向、成形温度と加熱方法、除荷温度等を選ぶことによって、成形限界、精度がかなり高くなることがわかった。具体的データにもとづいて要約説明すると次のようになる。

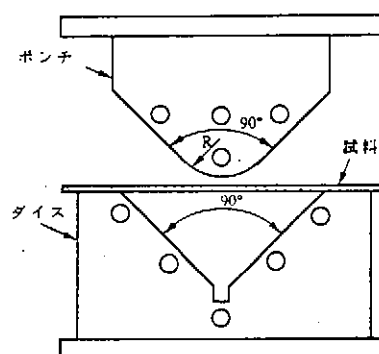


図1. V曲げ試験

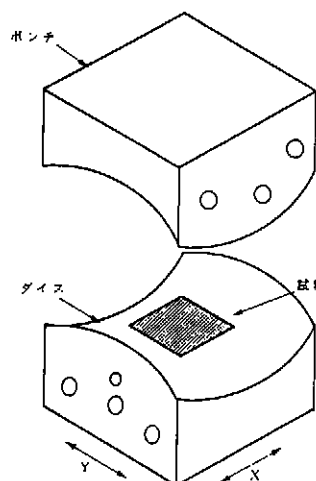
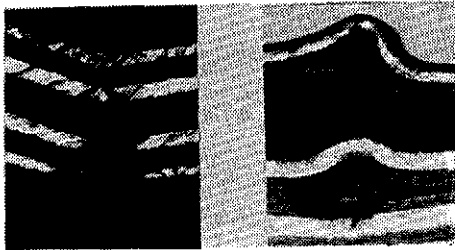


図2. くら形成形試験



a) 曲げ外側の破断 b) 曲げ内側の座屈
図3. 試料の破断及び座屈

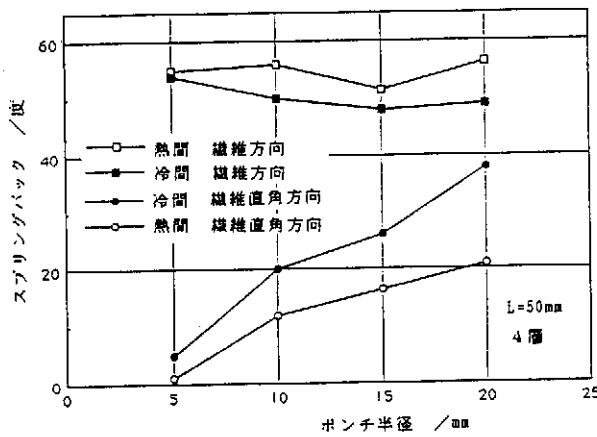


図4. V曲げにおけるスプリングバック (繊維方向の影響)

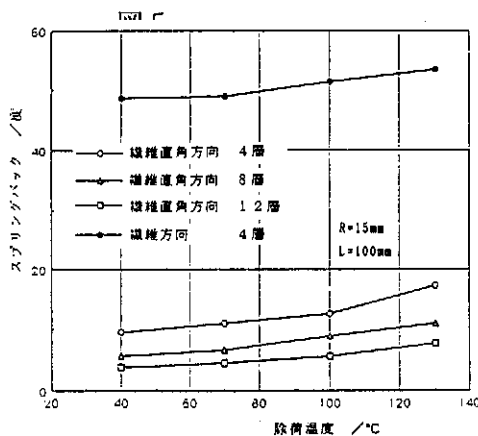


図5. V曲げにおけるスプリングバック (除荷温度の影響)

1) 本材料の成形限界は、図3 (a)、(b)に示すように、曲げの引張り側における炭素繊維の破断、または、圧縮側における層の剝離と繊維の圧縮破断により決まった。

2) V曲げ成形は、CFRP板を中心にアルミニウム板と交互に対称積層し、4層(板厚0.4mm)、8層(同0.8mm)、12層(同1.2mm)の3種類の試料について、ポンチ先端半径

5、10、15、20mmのポンチとダイスを用いて行った。図4は4層(試料長さ50mm)の試料の場合で、繊維方向曲げはポンチ先端半径、成形温度に関係なく大きなスプリングバックを示す。繊維直角方向曲げでは加熱によってスプリングバックを低下させている。図5は除荷温度(成形時は130°C)に対するスプリングバックの変化であるが、除荷温度の低下とともに、樹脂の硬化による変形拘束により、スプリングバックは低下し、常温近くでは熱間成形時の約1/2となった。

3) くら形成形においては、試料を外表面のアルミニウム板を0.4mmと

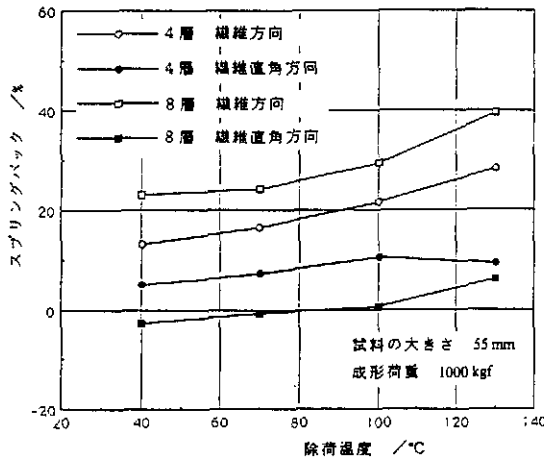


図6. くら形スプリングバック（除荷温度の影響）

なる辺に層間剝離を起こして限界となった。図6は最大試料寸法の試料について、成形荷重 1000Kgf (500Kgf以上でスプリングバックはほぼ一定となる) における除荷温度に対するスプリングバック $(\Delta (1/\rho) / (1/\rho) \times 100\%)$ の変化である。スプリングバックは試料の2辺のうち繊維方向となる辺が、4層、8層ともに大きく、直角方向はいずれも小さい。除荷温度の低下とともにV曲げの場合と同様に減少した。

表1. V曲げの成形限界

試料寸法	加熱方法	種層数 曲げ方向	4層		8層		12層	
			90°	0°	90°	0°	90°	0°
			5mm	電気炉	○	○	▲	●
5mm	通電加熱	○	●	○	●	○	●	
	10mm	電気炉	○	○	○	●	▲	●
10mm	通電加熱	○	●	○	●	○	●	
	15mm	電気炉	○	○	○	●	○	●
15mm	通電加熱	○	●	○	●	○	●	
	20mm	電気炉	○	○	○	●	○	●
20mm	通電加熱	○	○	○	●	○	●	

○: 成形可能 ●: 座屈 ▲: 破断

0.2mmとして、板厚はいずれも 1.0mm の4層対称層と8層対称積層の2種類とした。試料の形状は正方形板として、図2のように設置して成形した。冷間ではほとんど成形不可能あるので、すべて、熱間において行った。本実験においては、試料寸法 55 × 55 mmが最大で成形限界となった。それ以上の試料においては、繊維直角方向と

4) 通電加熱による実験においては型の表面が常に 130°C以上になるように加熱した。V曲げの場合、表1に示すように、繊維直角方向 (90°) においては、すべての場合成形可能となった。これは曲げられる部分のみが、0°方向では4層の場合にみられるように、かえって限界が低下している。図7は加熱方法の差異によるスプリングバックの変化を示している。ポンチ先端半径がいかなる場合も、通電加熱

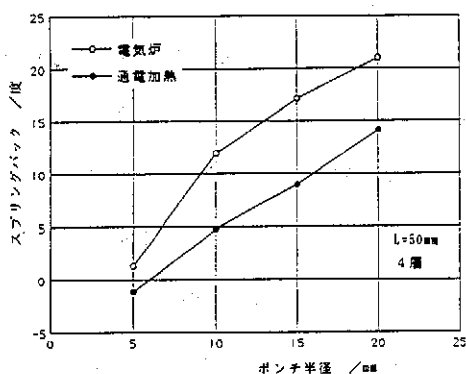


図7. V曲げにおけるスプリングバック (加熱方法による差異)

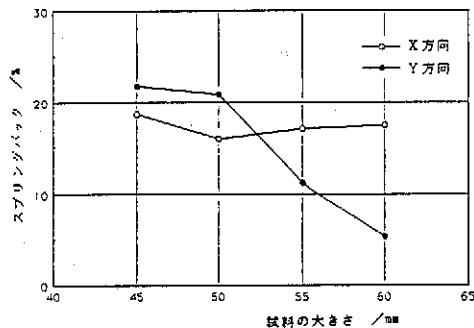


図8. 通電加熱によるくろ形成形におけるスプリングバック

によればスプリングバックは小さくなった。

くろ形成形においては、通常の板取りでは層間剝離を生じ成形不可能であったが、正方形の2辺と炭素繊維の方向が 45° になるように板取りすることにより、成形は可能となった。図8はその場合の試料寸法 $45 \times 45 \text{ mm} \sim 60 \times 60 \text{ mm}$ の範囲におけるX方向、Y方向のスプリングバックの変化を示している。X方向のスプリングバックは試料寸法によりほとんど変わらないが、Y方向では寸法の増大とともに減少した。

4. おわりに

本研究は財団法人天田金属加工機械技術振興財団の研究助成金によるもので、貴重な成果が得られたことに感謝する。

5. 発表論文

1. 川田・小山・芳我・山畑：第39回塑性加工連合講演会講演、1988. 10, 103
2. H. Yamahata, H. Koyama, K. Kawada, O. Haga : Bending of Al/CFRP Hybrid Composite Materials, First Japan International SAMPE Symposium & Exhibition, November 28, 1989