

冷間圧延クラッドの層間強度評価法開発

宮城工業高等専門学校 材料工学科

助手 熊谷 進

(平成 17 年度奨励研究 AF-2004022)

キーワード：強度試験法、引張特性、金属材料

1. 研究の目的と背景

金属系複合材料であるクラッド材は工業材料としての地位も確立しており、用途は多種多様である。しかしながら、異種金属の圧延圧着では界面(層間)に熱膨張率の違いによる大きな残留応力が生じており、低い力学的負荷でもはく離き裂発生の可能性がある。また、クラッド材のような金属系積層材料を対象とした層間特性評価法が確立されていないため、信頼性のある層間強度のデータが得られず、このことが開発・実用化推進の阻害要因となる場合も予想され、評価法確立が急務の検討課題である。

積層材料の層間特性に関して、ガラス繊維強化プラスチックおよび炭素繊維強化プラスチックを対象とした特性評価法に関する整備が進んでおり、層間せん断強度を求める方法^{1,2)}やモード I・モード II エネルギー解放率を求める方法³⁾が既に標準化されている。このようなプラスチックを対象とした評価法を金属基の積層材料に適用しようとしても目的とする破壊形態を得ることが困難であったり、試験片として要求される寸法を採取することが困難であったりする。

本研究は、異種金属積層材料における層間強度のような試験・評価が困難な力学特性を評価する方法を開発することを目的としている。即ち、異種材料接合材料の層間強度評価に適用可能な引張試験法を考案し、マグネシウム合金、アルミニウム合金、極低炭素鋼を対象として試験法に関する評価を行ったもので、引張挙動に及ぼす試験片形状の影響を実験に有限要素法を用いた理論的検討を加えることで明らかにしたものである。

2. ウェッジ押し込み引張試験

異種金属間の層間特性評価に関して、破壊力学的手法を用いることは応力の特異性の問題により困難である。そこで層間に単純引張破壊を生じさせることで、層間強度を評価する方法を考案した。図 1 に試験治具の模式図を示す。立方体あるいは直方体形

状に深いスリットを付与した試験片に上下からくさびを打ち込むことで試験片に引張破壊を生じさせる。

供試材には 3 種類の金属を用いた。マグネシウム合金 (AZ31)、アルミニウム合金 (A7075) および電磁軟鉄である。図 2 に試験片形状を示す。破壊形態に及ぼす試験片形状の影響を検討するために試験片幅 $2w=10, 15, 20$ mm の 3 種類とした。先ず、各金属の板材から帯鋸盤およびフライス盤を用いて、 10 mm \times 10 mm の正方形断面棒を形削・採取し、表面を平滑に仕上げた後、ワイヤ放電加工機を用いて試験片形状に加工した。

作製した試験片を治具に取り付け、 2 MN 圧縮試験機を用いてウェッジ押し込み引張試験を行った。クロスヘッド速度は 0.5 mm/min としロードセルと試験片中央に貼り付けたゲージ長 0.2 mm のひずみゲージ (KYOWA, KFRS-02-120-C1-13LIN3R) から、荷重およびひずみを計測した。

実験を行った試験片の破面は、光学顕微鏡を用いて観察した後に、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて破面観察を行った。

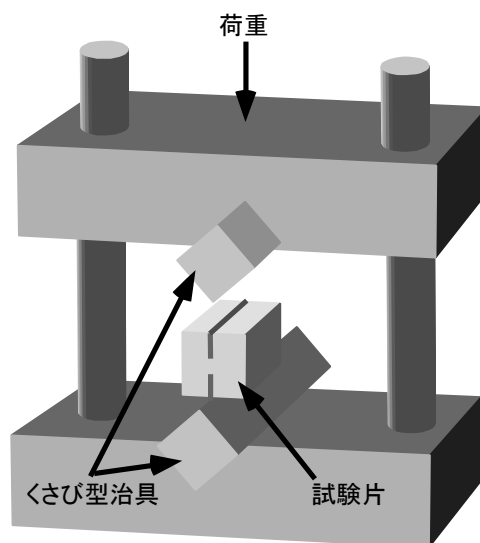


図 1 ウェッジ押し込み型引張試験

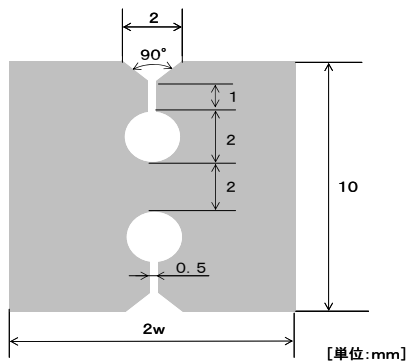


図2 試験片形状

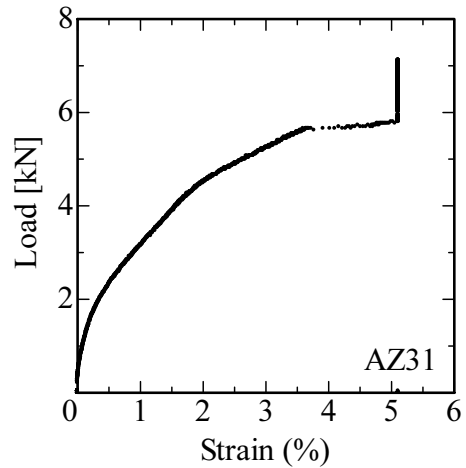


図4 AZ31の荷重-ひずみ曲線

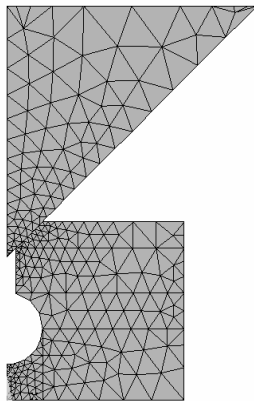


図3 有限要素メッシュ図(2w=10)

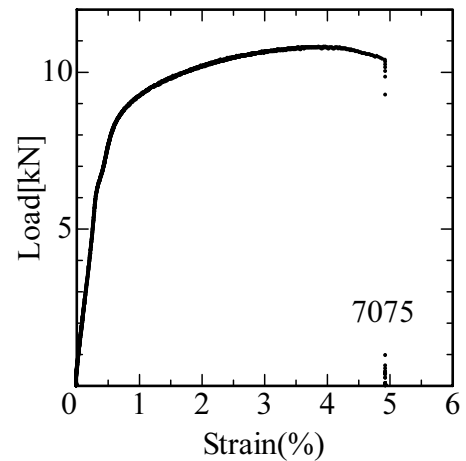


図5 A7075の荷重-ひずみ曲線

表1 解析に用いた弾性定数

	ヤング率 (GPa)	ポアソン比
AZ31	44.6	0.35
A7075	71.4	0.33
電磁軟鉄	211	0.29
治具	230	0.33

3. 有限要素解析

試験片内の応力分布を検討するため有限要素解析を行った。図3に2w=10 mmの場合の解析に用いたメッシュ図を示す。問題の対称性から1/4の領域をモデル化している。y方向を負荷方向、x方向を試験片幅方向と一致させている。解析は線形弾性体を仮定し、平面ひずみ、6節点3角形要素とし、治具と試料の接触面に接触要素を用いて解析を行った。表1は解析に用いた各材料および治具の弾性定数である。評定部の応力に及ぼす試験片幅2wの影響を解析するため2w=10、15、20 mmと変化させた。

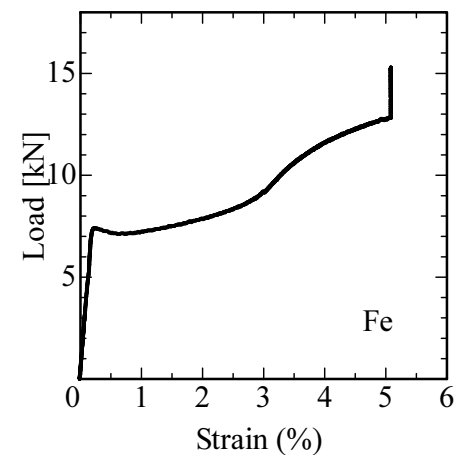


図6 電磁軟鉄の荷重-ひずみ曲線

4. 結果および考察

4・1 荷重-ひずみ関係

図4~6はそれぞれAZ31、A7075、電磁軟鉄の荷重-ひずみ曲線を示したもので、2w=10 mmの場合であ

る。何れの場合も約5%のひずみでひずみゲージが破損するため、試験片破断までのひずみは計測できていない。なお、電磁軟鉄は塑性変形量が大きく、本試験法では破断しなかった。AZ31は荷重初期からなだらかに非線形を示し、A7075の場合は降伏点が明瞭に現れ、電磁軟鉄では、上下降伏点が計測されており、通常の引張試験から得られる応力-ひずみ曲線と傾向がよく一致している。

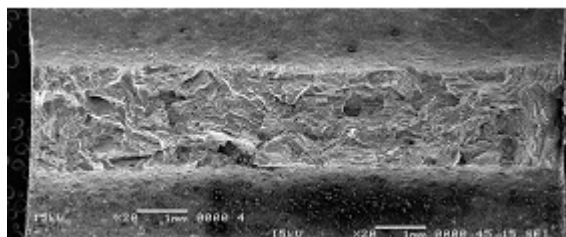
4・2 強度測定

表2はAZ31の実験結果を示したもので、 P_{max} は最大荷重、 A_o は評定部原断面積である。なお、通常の引張試験から得られるAZ31の引張強さは290MPa(カタログ値)である。 $2w$ の減少に伴い P_{max}/A_o は増大しており、試験片形状の影響を受けている。本試験片では平面ひずみの状態になるため、カタログ値よりも低くなることが予想されるが、 $2w=10\text{ mm}$ の場合には非常に高い P_{max}/A_o が得られた。図7はAZ31の破面観察写真である。破面全体にディンプルが広がっており、引張破壊が生じている。また、試験片幅による破面の差異は明らかではない。

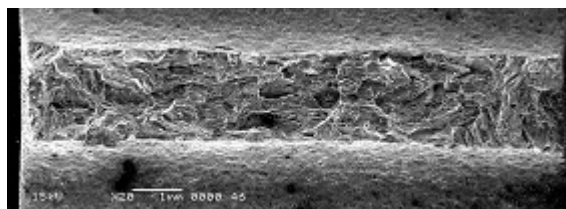
表3はA7075の結果である。なお、A7075の引張強さのカタログ値(T6)は530MPaである。熱処理によって強度特性も大きく変化するため、カタログ値と値の比較はできないが、AZ31の結果も考慮すると、 $2w=10\text{ mm}$ の試験片は引張強さを過大評価していると考えられる。図7はA7075の破面写真である。AZ31と同様に破断面全体に引張破壊が生じている。また、試験片厚さ方向(本紙面横方向)に $2w=10\text{ mm}$ では大きく塑性変形している。

表2 各種試験片形状におけるAZ31の最大荷重

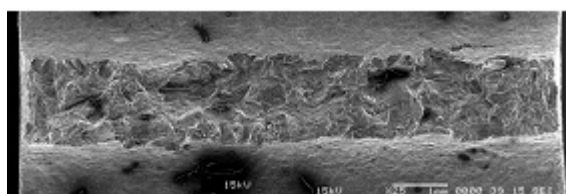
#	2w (mm)	Pmax (kN)	Pmax/Ao (MPa)
Mg10-1	10	5.84	292
Mg10-2	10	6.39	319
Mg10-3	10	6.30	315
Mg10-4	10	6.96	348
Mg10-5	10	6.22	311
平均			317
Mg15-1	15	5.14	257
Mg15-2	15	5.20	260
Mg15-3	15	6.06	303
平均			273
Mg20-1	20	5.47	273
Mg20-2	20	4.65	232
Mg20-3	20	5.24	262
平均			256



(a) 2w=10 mm



(b) 2w=15 mm

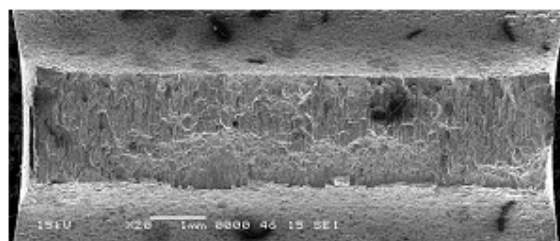


(c) 2w=20 mm

図7 破面観察 SEM 写真(AZ31)

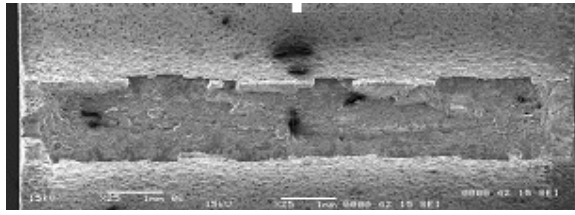
表3 各種試験片形状におけるA7075の最大荷重

#	2w (mm)	Pmax (kN)	Pmax/Ao (MPa)
Al10-1	10	10.67	533
Al10-2	10	11.83	591
Al10-3	10	9.79	489
Al10-4	10	11.59	580
平均			548
Al15-1	15	8.87	443
Al15-2	15	10.57	529
Al15-3	15	11.08	554
平均			509
Al20-2	20	10.18	509
平均			509

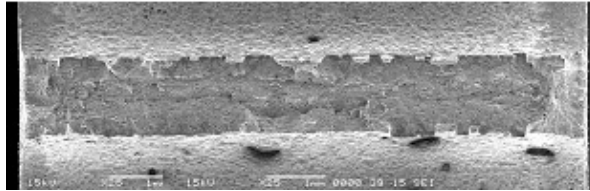


(a) 2w=10 mm

図8 破面観察 SEM 写真(A7075)



(b) 2w=15 mm



(c) 2w=20 mm

図8 破面観察 SEM 写真(A7075)

表4 有限要素解析結果

供試材	寸法 2w (mm)	y 方向 負荷荷重 (kN)	x 方向 引張成分 (kN)
AZ31	10	10	9.94
AZ31	15	10	9.97
AZ31	20	10	10.02
A7075	10	10	9.94
A7075	15	10	10.00
A7075	20	10	10.00
電磁軟鉄	10	10	9.98
電磁軟鉄	15	10	10.00
電磁軟鉄	20	10	10.00

4・3 応力解析

表4に有限要素解析結果を示す。y方向のウェッジを介した負荷が適切に試験片中央部(評定部)で引張応力となっているか検討するため、試験片中央部のx方応力を評定部原断面積 A_0 で除した値を示す。比較のためy方向の負荷は10kNと固定した。何れの材料でも試験片幅2wの減少に伴い引張成分は減少している。つまり、試験片幅の十分でない試験片の場合、評定部以外の変形も生じ、評定部の引張方向の力が減少し、結果として見かけ上、試験片幅の減少に伴い実験で得られる最大荷重が増大すると予想される。これはAZ31およびA7075の実験結果と定性的にはあるが傾向は一致している。

また、本研究で対象とした3種類の金属の中でAZ31が最も顕著に2wの影響を受けている。したがっ

て、剛性の低い材料の方がより影響を受けやすい。

5. 結言

ウェッジ押し込みによる引張試験法を考案し、得られる強度特性に及ぼす材料の種類および試験片形状の影響について理論的実験的検討を行った。実験はマグネシウム合金AZ31、アルミニウム合金A7075、電磁軟鉄を対象に行い、試験片中央に小型のひずみゲージを貼付することで、ウェッジによる荷重と試験片中央部のひずみの関係を検討した。ウェッジからの荷重による試験片中央部に発生する引張応力は有限要素解析の結果、供試材および試験片形状の影響を受けることが明らかになり、本試験法から引張応力-ひずみ曲線を得るには至らなかった。しかしながら、試験片幅の大きい試験片に関してはウェッジの負荷と試験片中央の引張成分がほぼ等しいため、ある一定上の試験片幅であれば適切な応力-ひずみ曲線が取得できる可能性を示すことが出来た。

等方性線形弾性体を仮定した有限要素解析では、試験片幅の減少に伴いウェッジの負荷に対する試験片中央の引張成分は減少した。これは実験結果と傾向が一致しているものの、本研究で対象とした供試材に関しては塑性変形および大変形も考慮した詳細な解析も必要であり今後の課題である。

冷間圧延クラッドの層間は本研究で対象とした供試材のような延性はないため、本試験法で破断させることは容易であると考えられる。今後クラッド材からの試験片採取方法や強度の評価に関して詳細に検討を行っていきたい。

謝辞

本研究の遂行にあたり、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を付記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1). JIS K 7057-1995: ガラス繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法, 日本規格協会
- 2). JIS K 7078-1991: 炭素繊維強化プラスチックの層間せん断試験方法, 日本規格協会
- 3). JIS K 7086-1993: 炭素繊維強化プラスチックの層間破壊靱性試験方法, 日本規格協会