

5052 アルミニウム合金板におけるセレーション伝播速度の評価

日大生産工（院） ○司茂 勝稔
日大生産工 小幡 義彦 森 康彦

1. 緒言

Al-Mg 系合金の塑性変形域では、鋸歯状の荷重挙動が見られ、これをセレーションと呼んでいる。このセレーションが発生すると、金属表面にひずみ模様が発生し製品の外観を損なう恐れがあるため、その発生を抑制する必要がある。セレーションは、軟鋼の降伏現象と同様にリュウダース帯の伝播が連続的に発生する現象と考えられており、セレーションの発生機構や影響因子に関する金属的研究は数多くなされているが、発現数の測定や個々の応力降下のマクロ観察、伝播速度などについては十分に解明されているとは限らない。本研究は、固溶原子と転位との相互作用によるセレーションの発現要因から起こるリュウダース帯伝播という微細な現象を測定し、リュウダース帯の伝播速度を、AE 信号とひずみ計測及び画像解析から評価し、セレーションの発現特性を明らかにすることを目的としている。

2. 実験方法

試験片は平行部長さ 120 mm、幅 12.5 mm、厚さ 1 mm、3 mm の二種類を作成した。加工後試験片を 350℃ で 1 時間の焼きなまし熱処理を施した。ひずみゲージは試験片の中心及び中心から 50mm 離れた左右の 3 ヶ所に接着剤を用いて貼り付けた。ひずみゲージは長さ 17mm、幅 7mm、ゲージ幅 6.5mm、測定限界 15% のものを使用した。試験片の端部には AE センサ 1 個をシリコングリースをカプラントとして、ビニールテープで固定し、取り付けた。引張試験の仕様は、負荷速度 5mm /min とし、サンプリングレイトは 10msec で AD 変換機に連続して記録した。これらの様子を図 1 に示す。また、供試材である 5052 ア

ルミニウム合金板の化学組成を表 1 に示した。

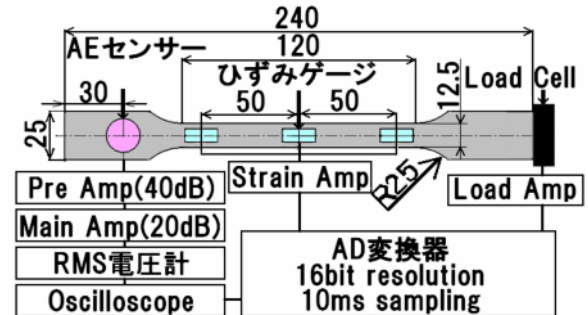


図1 試験片寸法とシステム図

表1 化学組成表 (mass%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.08	0.16	0.02	0.02	2.35	0.25	0.01	0.02	Bal

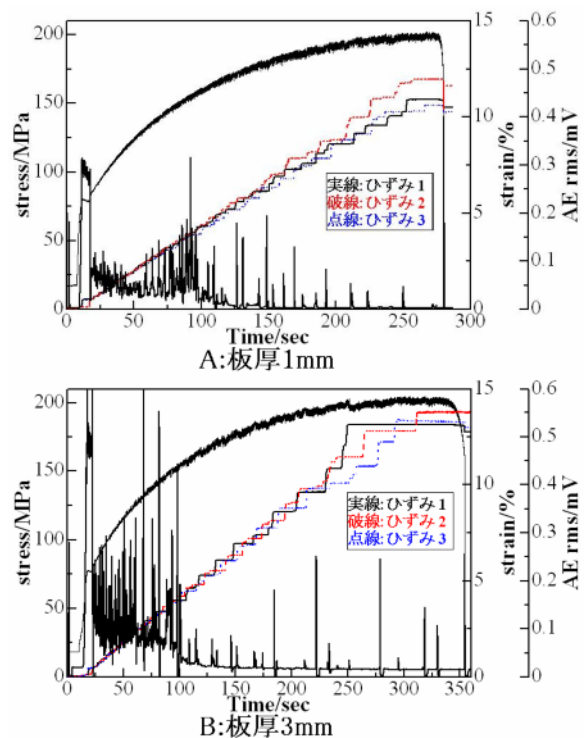


図2 応力とひずみとAEの関係

3. 実験結果及び考察

3.1 リュウダース帯の発生特性

図2はそれぞれ板厚1mmと3mmの時の応力とひずみとAEの時間的変化を示したものであり、応力は鋸歯状の荷重挙動が見られ、これがセレーションであると確認できる。ひずみに関しては上昇と停滞を繰り返し、階段状のグラフになっておりリュウダース帯が伝播していることがわかる。図3に負荷応力におけるひずみの上昇量を示す。応力の増加に伴い個々のひずみの上昇度は大きくなり、発生数の減少より停滞時間が長くなっていることがわかる。板厚の影響として、板厚が大きいほうが個々のひずみの上昇度は大きく、停滞時間も長くなることがわかった。

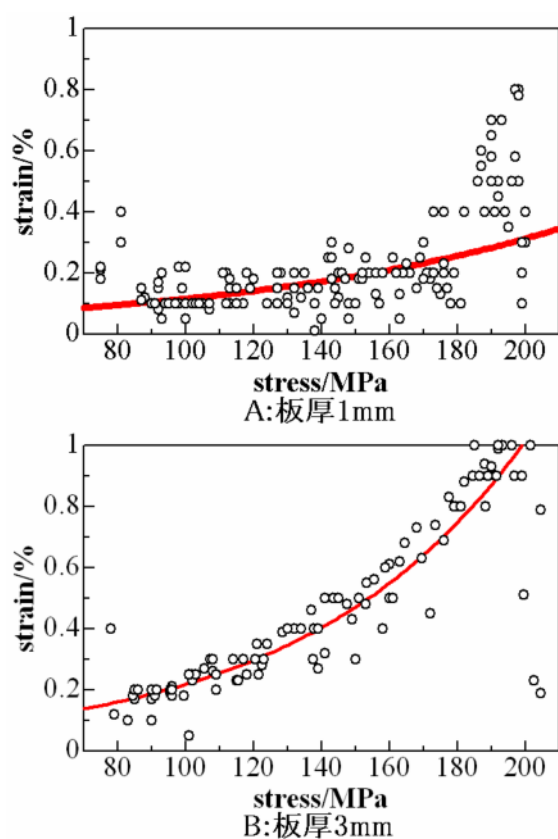


図3 ひずみ上昇量と応力の関係

図4に板厚3mmの初期と後期のひずみの拡大図を示した。ひずみ上昇の形状・周辺のひずみの個数より、図中のa,b,cとd,e,fは、それぞれ同一のひずみと考えられる。初期ではリュウダース帯がひずみゲージ3からひずみゲージ1の方向に伝播し、後期ではひずみゲージ1からひずみゲージ3の方向に伝播していることがわ

かる。これらよりリュウダース帯は試験片の端部から発生し、軸方向に伝播することがわかった。

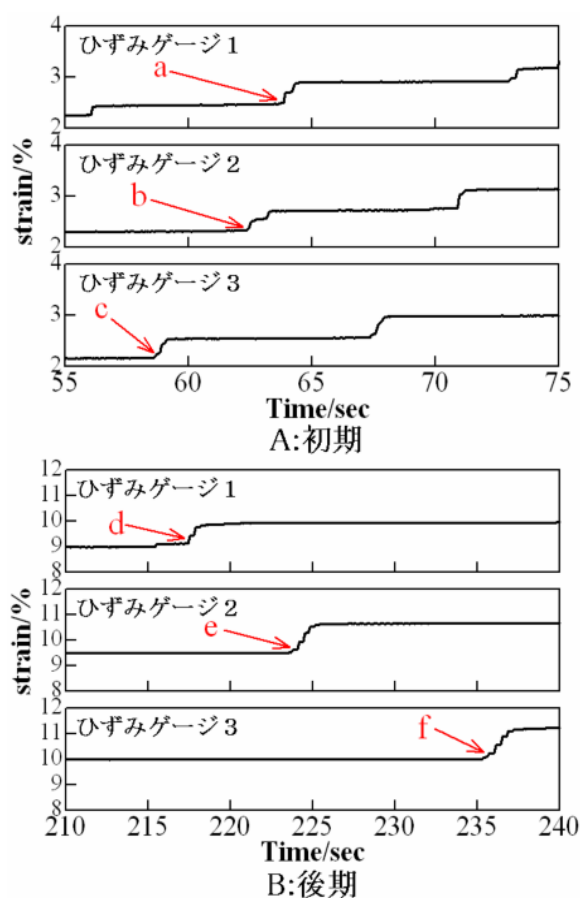


図4 板厚3mmひずみ拡大図

また、上端・下端のどちらから発生するかは、不規則であることがわかった。

3.2 リュウダース帯伝播速度の板厚による違い

前項で述べた通り、リュウダース帯は軸方向に伝播しているので、ひずみの上昇時間の差とひずみゲージ貼り付け位置の距離からリュウダース帯の伝播速度を算出することができる。図5に板厚1mm, 3mmの試験片における伝播速度と応力の関係を示した。このグラフより、応力の上昇に伴い伝播速度が減速する事が明らかである。これは応力が上昇するにつれて試験片が加工硬化され転位密度が増加したために起こる現象である。また、板厚1mmと3mmを比較すると板厚1mmのほうが伝播速度が速いことが確認できた。これは、板厚3mmの方が個々のひずみ上昇度が大きく、変形抵抗が大きくなるため、伝播速度が遅くなるのである。また、板厚1mmで

はひずみ上昇度が小さいために、発生数が多くなると考えられる。

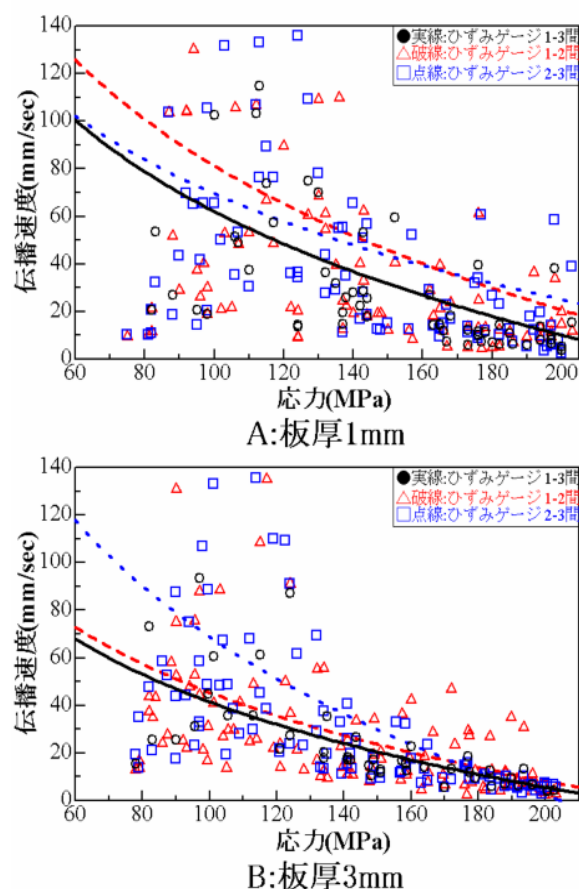


図5 伝播速度と応力の関係

3.3 リューダース帯伝播速度の画像観察

図6は、各々の時間のときにリューダース帯が試験片上を伝播しているときの静止画である。図中の右肩下がりの斜線は、リューダース帯の波を表しており、図中に写っているひずみゲージは試験片中央②番のものである。これよりリューダース帯は試験片に対して垂直、平行に走ることはなく、斜めに走ることが確認できた。またその方向に一貫性はなく上端、下端どちらから発生するかは不規則である。図7に板厚3mmのときの画像による伝播速度とひずみゲージによる伝播速度の比較を示した。グラフより画像による解析では、最も遅い伝播速度しか計測できず、10 mm/s 程度以下のものしか測定できないということが確認できた。また前述したように板厚が厚いほうがひずみ量は大きいため、板厚3mm試験片のほうがリューダース

帯を容易に確認できる。図8に「図6 リューダース帯の伝播画像」の時刻付近の応力と

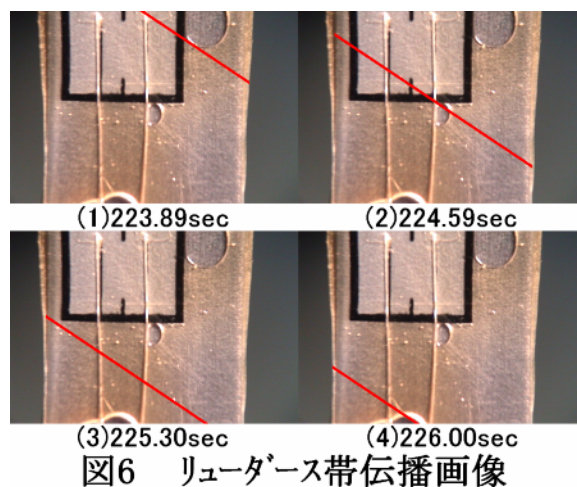


図6 リューダース帯伝播画像

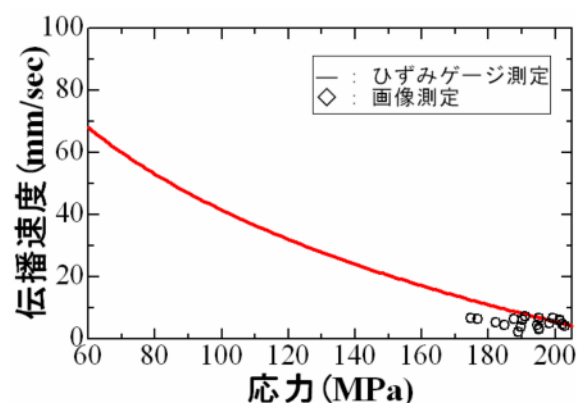


図7 板厚3mmの画像測定とひずみゲージ測定の伝播速度の比較

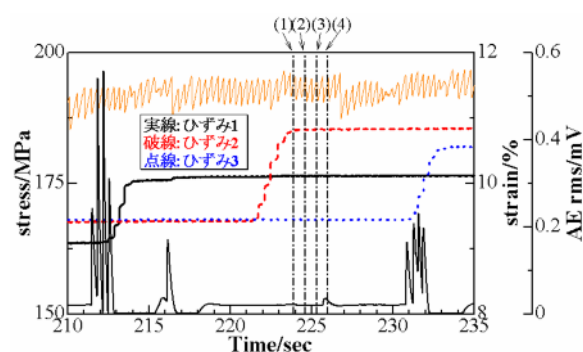


図8 画像の時刻周辺の応力とひずみとAEの関係

AEとひずみの関係を示した。図8中の(1)～(4)は、図6の(1)～(4)と一致している。グラフでは時間の経過に伴い、[AE発生→ひずみ1上昇→ひずみ2上昇→ひずみ3上昇]となっていることより、リューダース帯の伝播が確認できる。ひずみゲージ及び画像により伝播速度を算出すると6.2 mm/sであり、AE発生時刻から、リ

ューダース帯発生位置を算出すると 224.59 秒の画像の位置から 81.9 mm 手前で発生したことになる。これは、試験片の R 部に入ってから、1.7 mm の位置である。よってリューダース帯は、応力集中が起こる R 部周辺で発生することがわかった。このように映像と AE の関係から、R 部でリューダース帯が発生することがわかるデータは、7 個中 3 個であった。

3.4 AE と応力の関係

図 2 において、AE と応力の関係に着目すると弾性変形域では、AE はほとんど発生していないことが確認できる。そして弾性限度を過ぎると AE は発生し始め、上降伏点で AE の発生がピークとなり、降伏域では高い AE 値のまま下降伏点まで連続して発生する。下降伏点では AE 値が再度ピークに達した。そして、下降伏点を過ぎると AE の発生が減少する。さらに板厚に依存せず応力が 150MPa 付近なると一度大きく AE が発生し、その後は急激に減少している。これらは、リューダース帯の発生に伴って AE が発生するため、試験片が塑性変形域に入りリューダース帯が形成されると AE が発生する。また、上降伏点では塑性変形が活発に行われ始めるため AE が大きく発生したのである。図 9 は、AE 実効値が急激に増したときの、微視的な応力の形態の統計を示したものである。また、図 10 は発生した順に 80 個おきに区切ったグラフである。この分類方法を表 2 に示す。

表2 分類方法	
分類A	AE発生時に応力が大きく下がる(リューダース変形)
分類B	AE発生時に応力が下がる(セレーション)
分類C	AE発生前に応力が下がる
分類D	AE発生後に応力が下がる
分類E	その他

図 9 より分類 A, B が大半を占めており、これは内部に蓄積されたエネルギーが解放され、試験片が伸びたために応力が下がり、同時にこのエネルギー波を AE 計測器で観測したので応力降下時に AE が発生したと考えられる。また、分類 A は AE 発生時に応力が大きく降下した時

を示しており、これはリューダース帯が発生し移動した瞬間であると考えられる。つまり塑性

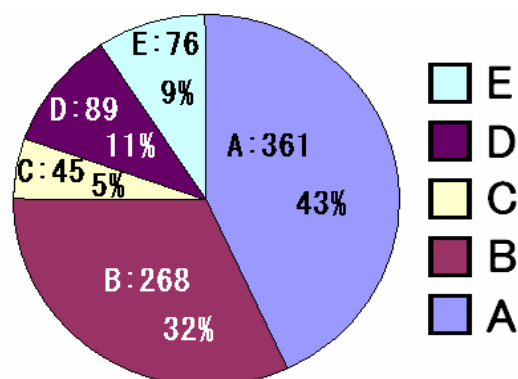


図9 各分類発生割合

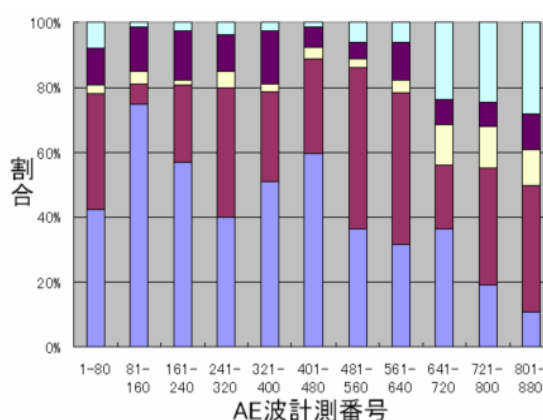


図10 各分類発生割合(11分割)

変形といった不均一な現象に対応して AE が増大することを示している。図 10 では後半に進むにつれて分類 A が減少しており、リューダース帯の減少が確認できる。

4. 結言

リューダース帯は、試験片 R 部付近で発生し、軸方向に斜めの角度で伝播するが、走る方向に一貫性は無いことがわかった。また、AE を用いることによって、リューダース帯の発生位置を正確かつ、容易に特定できることがわかった。応力の上昇に伴ってリューダース帯の発生数は減少し、大きさは増大し、伝播速度は減速することがわかった。板厚が厚いほうが、リューダース帯の変形量は大きく AE 実効値も高いが、発生数は少なく、伝播速度は遅いことがわかった。そして画像による解析では、伝播速度 10 mm/s 程度以下のものしか測定できないということがわかった。