

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17942

研究課題名(和文) アルミニウム、マグネシウム合金板の温間粘塑性挙動・面内異方性の高精度モデル構築

研究課題名(英文) Warm temperature visco-plastic deformation behavior of aluminum and magnesium alloy sheets

研究代表者

濱崎 洋 (HAMASAKI, HIROSHI)

広島大学・工学研究院・助教

研究者番号：30437579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：アルミニウム合金板A5182-0材の室温から300℃における応力緩和試験を実施し、室温および100℃では予ひずみ時には応力-ひずみ曲線に差が生じないが、100℃では顕著な応力緩和を示すことを明らかにした。また、300℃では応力がほぼ消滅することを見出した。続いて、温間二軸引張試験により等塑性仕事面を観察し、室温ではvon Misesに近く、300℃ではTrescaに近づくことを明らかにした。最後に温間張出試験により成形限界線図を取得し、温度上昇に伴い成形限界が向上するが、成形速度の影響は小さいことを示した。

研究成果の概要(英文)：Relaxation tests for A5182-0 aluminum alloy sheet were carried out. From the results, it was found that stress-strain curves during pre-straining at R.T. and 373K were almost the same, while stress drop during relaxation at 373K was much more significant. Additionally, stress at 573K almost disappeared during relaxation test. Secondly, bi-axial tension tests were conducted and equi-plastic work loci were obtained. The results showed that the shape of yield locus is close to the von Mises yield criteria, while it was approaching Tresca yield function at 573K. Finally, warm stretching test was conducted and forming limit curves at elevated temperature were obtained. The obtained results showed that formability is increasing with increase of temperature, while forming speed did not have influence.

研究分野：塑性力学

キーワード：変形特性 温度依存性 金属材料 応力緩和 異方性

1. 研究開始当初の背景

5000 系アルミニウム合金板の常温におけるプレス成形では延性に乏しく、また塑性変形に伴ってストレッチャーストレインと呼ばれる縞模様が発現して製品外観を損ねる。そこで板を 300 程度まで加熱して成形することでこれらの課題を克服できる温間成形が広く利用されている。しかし、金型設計のための CAE 技術は常温のそれと比べて遅れており、コスト削減、リードタイム短縮には早急に高精度な CAE の確立が望まれる。この背景として、温間での温度とひずみ速度および変位保持時の応力緩和を同時に高精度に表現可能な材料モデルがないことが挙げられる。

2. 研究の目的

本研究では以下の目的を掲げている。

- (1) アルミニウム合金板の温間成形 CAE 高精度化のための材料モデルを構築するため、室温から 300 の成形温度範囲における種々の材料試験を実施し、プレス成形で重要な単軸引張特性、等塑性仕事面、応力緩和特性を明らかにする。
- (2) 温間張出試験により、種々の温度、成形速度で成形限界線図を取得して、その温度と速度依存性を明らかにする。

3. 研究の方法

研究には自動車ボディ等で広く使用されているアルミニウム合金板 A5182-O 材を供試材とした。それぞれの材料試験の方法を以下に示す

- (1) 温間応力緩和試験 放電加工機により、供試材から図 1 の形状を切り出して試験片とした。試験温度は 20, 100, 200, 300 とし、予ひずみ速度は 0.01, 0.001/s とした。単軸引張予ひずみはいずれも 10% とし、目標予ひずみ到達後にはクロスヘッド変位を固定して応力緩和試験に切り替えた。試験に使用した試験機は島津製作所製の油圧式サーボパルサである。加熱には亀井製作所製の電気炉を使用し、目標温度到達後 10 分間保持してから試験を開始した。以上の試験から得られた応力緩和と変位保持時間の関係から応力低下におよぼす温度とひずみ速度の影響を調査した。

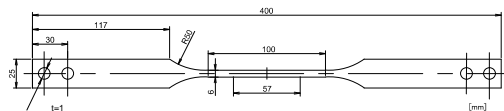


図 1 応力緩和試験片

- (2) 温間二軸引張試験結果 放電加工機により、供試材から図 2 の形状を切り出して試験片とした。試験温度は 20, 170, 260 とし、ひずみ速度は 0.001/s で実験を実施した。試験機には自作の二軸引張試験装置を用い、恒温槽内に電気炉と熱風ヒータを取り付けて試験片を昇温した。試験片加熱後は 10 分間保持して試験を開始した。圧延方向(x)、圧延直行方向(y)の応力比 $\sigma_x : \sigma_y$ は 1:2, 1:1, 2:1 の 3

条件と x および y 方向の単軸引張試験とし、試験から得られる応力-ひずみ曲線から等塑性仕事面を取得した。

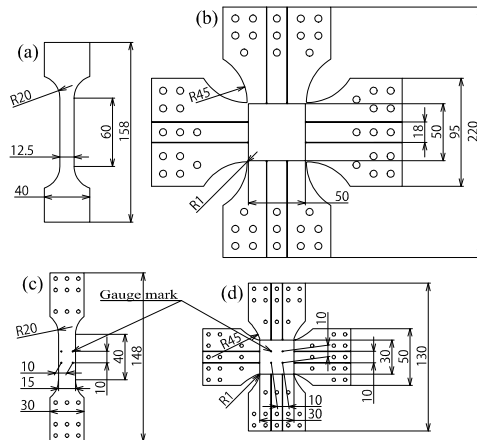


図 2 二軸引張試験片

- (3) 温間張出試験 レーザ加工機により、供試材から張出試験片を切り出した。試験片の形状は 160mm×160mm の正方形形状から、160mm×40mm までの計 8 種類とし、これによりひずみ比を変化させて成形限界ひずみを測定した。加熱はパンチおよびダイスに挿入したカートリッジヒータで行い、目標温度到達後 10 分間保持して試験を開始した。試験温度は 20, 200, 250, 300 とした。

4. 研究成果

- (1) 応力緩和試験結果 図 3 に応力緩和試験から得られた予ひずみ時の応力 ひずみ曲線を示す。室温および 100 では動的ひずみ時効が生じている。また、200 以上では温度上昇とひずみ速度低下に伴い応力が減少した。ただし、20 と 100 の応力 ひずみ曲線はほぼ同じであった。続いて図 4 に変位保持時の応力と保持時間の関係を示す。予ひずみ時とは異なり、100 でも顕著な応力緩和を示していることが確認できる。また温度上昇とともに応力緩和は顕著となり、300 では 1000s 程度の保持で応力がほぼ消滅した。続いて 100, 200, 300 の応力緩和試験後の再引張を実施して応力 ひずみ曲線を取得した。結果を図 5 および 6 に示す。本結果から 200 以下では再引張時の降伏応力が低下しており、これは変位保持時に動的回復および動的再結晶が生じたことを示唆している。一方、300 の試験では再降伏応力は変位保持開始時の応力とほぼ一致しており、保持中の動的回復および再結晶が生じていないことが分かる。しかし、応力緩和は顕著に起こっており、このことから応力緩和は再結晶、回復律速ではなく、粒界すべりにより引き起こされていると推測される。

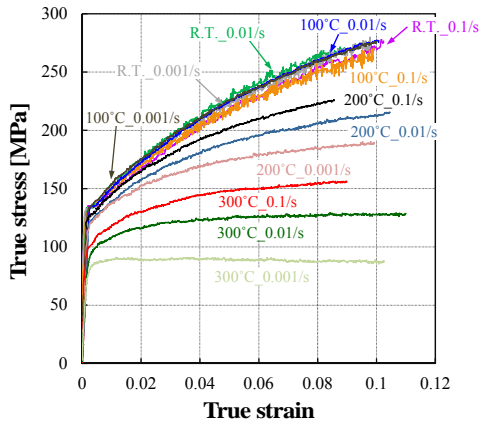


図3 応力緩和試験から得られた予ひずみ時の応力 ひずみ曲線

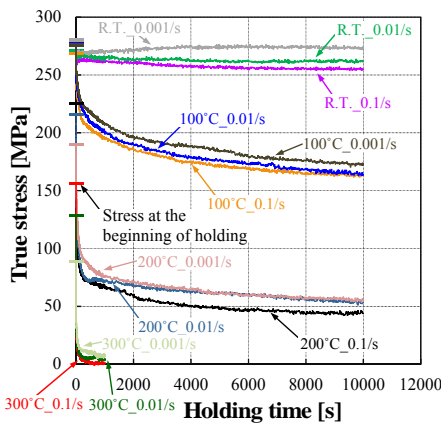


図4 変位保持時の応力と保持時間の関係

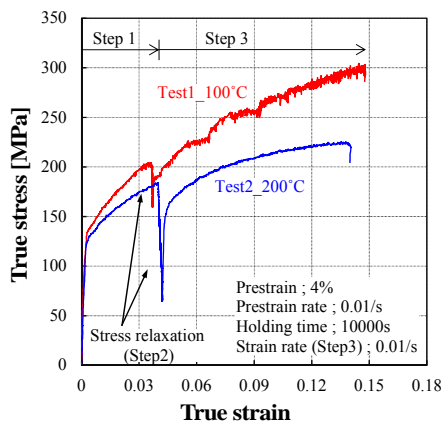


図5 100, 200 の応力緩和後の再引張試験から得られた応力 ひずみ曲線

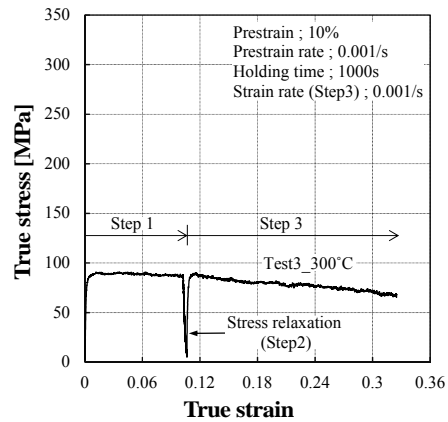


図6 300 での応力緩和後の再引張試験から得られた応力 ひずみ曲線

(2) 温間二軸引張試験結果

図7に20, 170, 260 の等塑性仕事面を示す。20 では von Mises の降伏曲面に近い形状を示したが、温度上昇につれて応力比 1:2, 2:1 の点が内側に入り、260 では von Mises よりも応力が大幅に低下して Tresca に近い挙動を示した。この理由は未だ調査中であり、今後は結晶方位解析を含めた金属組織から検討を進める予定である。

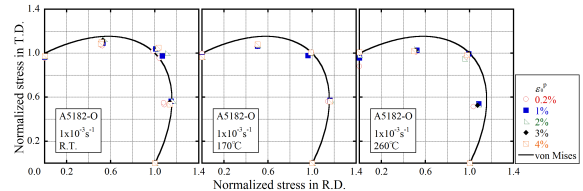


図7 20, 170, 260 の等塑性仕事面

(3) 温間成形限界試験結果

図8にパンチ速度0.15mm/sの図9に1.5mm/sでの張出試験から取得した成形限界図を示す。いずれの速度でも温度の上昇に伴い成形限界が向上することが確認された。しかし、成形速度の影響はほとんど生じなかった。以上のことから温間成形では室温で難成形材であるアルミニウム合金板の延性向上が期待できると言える。

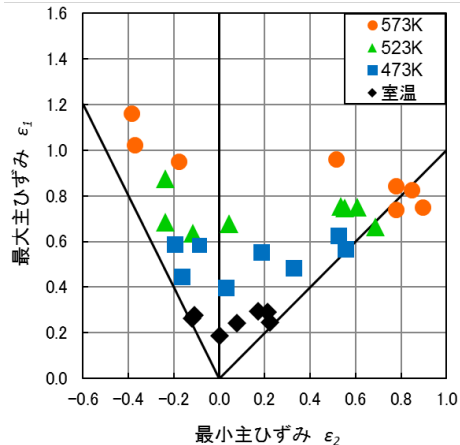


図8 パンチ速度 0.15mm/s の温間成形限界線図

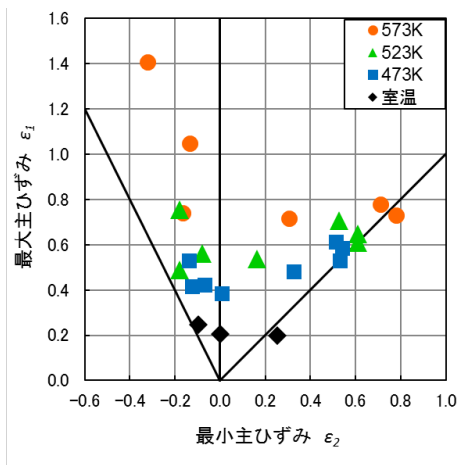


図9 パンチ速度 1.5mm/s の
温間成形限界線図

一方，単軸側での試験結果では試験片形状の拘束から局所くびれより以前に拡散くびれが生じてしまい，正確な成形限界の評価が困難であった．図 10 に各温度と各ひずみ比における破断部の断面写真を示す．300 の単軸引張および平面ひずみ引張では，局所くびれ近傍が均一変形しておらず，破断箇所から離れるにつれて板厚が増加している．本来，成形限界点は破断部近傍の均一変形部のひずみから測定されるべきものであるが，本手法ではこれが困難であることが確認された．今後は画像処理を用いたひずみ測定法で再度試験を実施して，破断部近傍の局所ひずみを再取得する予定である．

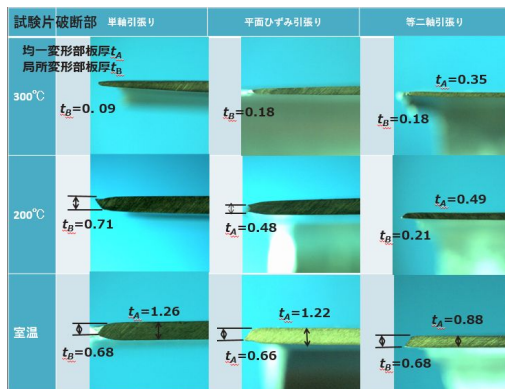


図 10 破断部近傍の試験片断面写真

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

(1) Fumiaki Tamashiro, Hiroshi Hamasaki, Fusahito Yoshida, Equi-Plastic Work Locus of 5000 Series Aluminum Alloy Sheet at Warm Temperature, Key Engineering Materials, 査読有, 2017, pp.695-699.

〔学会発表〕(計 3 件)

(1) Fumiaki Tamashiro, Hiroshi Hamasaki, Fusahito Yoshida, Equi-Plastic Work Locus of 5000 Series Aluminum Alloy Sheet at Warm Temperature, Asia-Pacific Symposium on

Engineering Plasticity and Its Applications (AEPA2016), 4-8 Dec 2016, Higashi-Hiroshima, JAPAN.

(2) 生田智子, 濱崎洋, 吉田総仁, A5182-O 板材の温間成形限界, 第 67 回塑性加工連合講演会, 21-23 Oct 2016, 日本工業大学(埼玉県・南埼玉郡)

(3) 森光勇太, 濱崎洋, 吉田総仁, 温間引張試験におけるアルミニウム合金板の応力緩和, 第 67 回塑性加工連合講演会, 21-23 Oct 2016, 日本工業大学(埼玉県・南埼玉郡)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

濱崎 洋 (HAMASAKI HIROSHI)

広島大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：30437579