

報告番号

※甲 第1293 号

## 主論文の要旨

題名 アルミニウム薄板の塑性変形挙動  
特にその面内異方性に関する研究

氏名 金武直幸

## 主論文の要旨

| 報告番号   | ※甲第 | 号 | 氏名   |
|--|-----|---|------|
|  |     |   | 金武直幸 |
| <p>金属薄板の成形に関する研究は、これまでにいろいろの観点から多数行われ、数々の問題が解明されている。しかしまだ多くの問題が残され、また新たな問題も生じている。たとえば、円筒深絞り成形については、引張り試験における幅方向と板厚方向の歪の比<math>r</math>値の大きい材料ほど、限界絞り比は増大するところが、薄鋼板に対し多くの実験を通じて確認されている。そして理論的にも<math>r</math>値が大きくなるとカップ壁部の強度が増し、絞り抵抗が減少することから説明され、材料の深絞り性と<math>r</math>値との正相関関係は絶対的のものと考えられて来た。しかし薄鋼板についてもその材質改善が進むにつれ、あるいは非鉄材料特にアルミニウム薄板の場合に、この<math>r</math>値との相関関係は必ずしも良好なものではなく、<math>r</math>値に代わる新しい深絞り性評価尺度の要求が高くなって来た。たとえば、液圧張り出し試験で求める等軸引張りでの変形抵抗の一軸引張りの変形抵抗に対する比を<math>r</math>と見做す、それに対する一つの提案である。しかし基本的には、絞り変形部の絞り抵抗と破断部の強度との兼ね合いで深絞り限界は決まり、しかも現実には絞り限界に達するとカップの特定方向で割れが起る。この現象は多軸応力下での変形挙動の面内異方性に関連するものであり、この面内異方性についての情報が問題解決のための基礎となる。</p> |     |   |      |

# 主論文の要旨

2

| 報告番号   | ※甲第 | 号 | 氏名   |
|--|-----|---|------|
|  |     |   | 金武直幸 |
| <p>それにも拘らず薄板の多軸応力下での変形挙動とその面内異方性を含めて実験した結果はこれまでに極めてわずかに報告されていはい。</p> <p>本研究は以上のような現状をふまえ、薄板の成形性に直接関連する多軸応力下での塑性変形挙動をアルミニウム板について実験するとともに、既存の巨視的立場からの塑性異方性理論との対比を行ない、さらに結晶塑性理論を用いて集合組織からの検討を行ったものがある。そして円筒深絞りにおける深絞り力や破断力の円周方向分布との関係について考察し、金属薄板の成形性評価尺度として採るべきものの指針を与えた。</p> <p>本論文は次の6章から成っている。</p> <p>第1章「緒論」では薄板の深絞り性に関する現在の問題点及び関連研究の背景を述べ、本研究の目的、意義を示した。</p> <p>第2章「一軸引張り」と平面歪引張り」では、12種類のアルミニウム薄板を供試材料として一軸引張り試験を行ない、さらに直方形試片の板面中央に引張り方向と直角に円弧溝を付け、それを引張るとにより平面歪引張り強さの測定を行った。得られた主な結果は次のとおりである。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) 各機械的性質は異った方向性を示す。</li><li>2) 一軸引張り試験値(引張り強さ, <math>r</math>値など)から平面歪</li></ol> |     |   |      |

# 主論文の要旨

3

| 報告番号  | ※甲第 | 号 | 氏名   |
|---|-----|---|------|
|   |     |   | 金武直幸 |
| <p>引張り強さを予測するとは、定量的のみならず定性的(方向性)にも関心深い。</p> <p>第3章「円筒深絞りにおける板の変形と破断」では、限界絞り比や割れ方向、位置を調べた上、さらにフランジ部(絞り変形部)及び破断部の歪状態や深絞り力及び破断力を、特にこれらの円周方向分布に注目して実測した。歪の測定は絞り行程を数段階に分けてそのつど行ない、フランジ各部の歪履歴も調べた。一方深絞り力及び破断力の測定には、半径方向に8分割したセグメントより成り、それぞれに荷重計を備えた円筒ポンチを用いて行なった。さらに深絞り力の円周方向分布をより簡便に予測するため、板面各方向に採取したくさび形試片にくさび形タイスで引抜いて絞り変形を与える方法を検討した。得られた結果を要約すると次のようである。</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1) 割れの発生する方向と<math>r_{min}</math>の方向とが一致する材料は多いものの、限界絞り比は<math>\bar{r}</math>、<math>r_{min}</math>いずれとも関係が認められない。</li><li>2) フランジ部の絞り変形は外縁より少し内部にほぼ純粋せん断変形と行っており、その付近で歪は各成分とも方向による差が最大となる。そして成形初期からその方向による差は見られ、最大荷重時には倍々りしていき。</li></ol> |     |   |      |

# 主論文の要旨

4

| 報告番号  | ※甲第 | 号 | 氏名   |
|---|-----|---|------|
|   |     |   | 金武直章 |
| <p>3) ポンチプロフィール部破断において、破断直前までの歪の円周方向分布はほとんど一様で、平面歪引張り曲げ変形となっている。そして特定方向で局部的なくびれが急速に進展して破断に至る。</p> <p>4) 最大深絞り力は円周方向に不均一に分布し、その分布状態は絞り比によってほとんど変化しない。そしてこの分布状態を一軸引張り試験値の方向性から予測することは必ずしも、くさび形ダイスによる最大絞り力の方向性から見積ることも可能である。</p> <p>5) ポンチプロフィール部破断に対する破断強度の方向による差は、平面歪引張り強さの方向性とほぼ一致する。</p> <p>6) くさび形ダイスによる最大絞り力の方向性と、平面歪引張り強さの方向性とを兼ね合いによって、円筒深絞りでの割れ発生方向の予測がほぼ可能である。</p> <p>第4章「多軸応力下での変形挙動」では、各種組合せ応力状態での二軸圧縮試験を行って、その結果を降伏曲線として表現し、特に平面歪変形応力の面内異方性を中心に、円筒深絞り時の異方性挙動との関連について考察した。薄板を重ねて貼り合わせた直方体試片に対し、圧縮主応力軸を板の圧延方向、圧延直角方向、板厚方向とした場合 (<math>\theta=0^\circ</math> と示す) 及び圧延方向に対し <math>45^\circ</math> の二方向と板厚方向とした場合 (<math>\theta=45^\circ</math> と示す) について実験し、面内異方性を調べた。さらに任意の負荷条件の内、特に板</p> |     |   |      |

# 主論文の要旨

5

報告番号 ※甲第 号 氏名 金武直幸

面内での平面歪引張り変形に対し、その板幅歪が零と成る時の引張り応力 ( $\sigma_{wp}$ ) 及び板厚歪が零と成る時の引張り応力 ( $\sigma_{TP}$ )、あるいは板面二方向の引張りと圧縮とにより板厚歪が零と成る時の引張り応力 ( $\sigma_{SP}$ ) の面内異方向性を、前章での円筒深絞りにおける異方向性挙動と比較検討し、また既存の Hill の異方向性理論による計算結果と比較した。得られた結果を要約すると次のようである。

1) アルミニウム薄板の完全焼鈍材の降伏曲線はほぼ正六角形に近しいトレスカ型である。

2) 圧延加工材及び熱処理材では、 $\theta=0^\circ$  の降伏曲線において、圧延変形応力  $\sigma_{wp}$  の方向に垂直な方向の応力状態が過剰硬化現象が見られ、その付近で少し丸くなる。また  $\theta=45^\circ$  では強圧延材やその後熱処理した材料では  $\sigma_{SP}$  軸 (板厚方向応力軸) に垂直な方向に短く、他の材料ではその方向に長い形となる。しかしいずれもトレスカ型の降伏曲線である。

3)  $\sigma_{wp}$ ,  $\sigma_{TP}$ ,  $\sigma_{SP}$  は各々独自の方向性を示し、いずれも一軸引張り応力 ( $\sigma_0$ ) のそれとは一致しない。そしてそれらは Hill の理論による計算値とは一致せず、理論的予測は不可能である。

4)  $\sigma_{SP}$  の方向性と最大深絞り力の板面内円周方向分布、及び  $\sigma_{wp}$  の方向性と平面歪引張り強さのそれとが各々ほぼ一致し、従って板面内で  $\sigma_{wp}/\sigma_{SP}$  が最小となる方向と、深絞り時のポソ

# 主論文の要旨

6

報告番号

※甲第

号

氏名

金武直幸

デフォルム部破断の生ずる方向とがよく一致する。

第5章「変形挙動の三次元結晶方位解析」では巨視的変形挙動の異方性に及ぼす集合組織の影響と、結晶塑性理論を用いて検討した。集合組織の測定には板厚全体の平均的集合組織を測定する方法を用いた。変形挙動の計算では、すべり系上のすべり変形のみを考慮、三次元結晶方位分布関数と重み関数として各方位の結晶の存在比率を表わし、そのよう単結晶の集まりとしてモデル化した多結晶体について、降伏曲線や値あるいは各変形応力の方向性と計算した。そして実測値との比較検討も行なった。得られた結果を要約すると次のようである。

1) 圧延材には再結晶集合組織と圧延集合組織が共存しているが、強圧延材では前者がほとんど無いのに対し、完全焼鈍材では前者のみならず後者も残存している。さらに部分焼鈍材や安定化処理材では熱処理前の集合組織がほぼ残り残っている。

2) 実測した降伏曲線に見られた種々の形の変化のうち、バウシナー効果以外は集合組織を基にした計算結果にも現われており、降伏曲線の形に及ぼす集合組織の影響が確認できた。そしてその影響は、特に $\theta=45^\circ$ の場合に大きく、再結晶集合組織と圧延集合組織の存在比率により降伏曲線の形が大きく変化する。

# 主論文の要旨

7

| 報告番号   | ※甲第 | 号 | 氏名 | 金武直幸 |
|--|-----|---|----|------|
| <p>3) Y道は<math>\sigma</math>歪の方向性だけでなく、<math>\sigma</math>力の方向性にも集合組織の影響が見られ、一軸<math>\sigma</math>力のみならず特定の多軸負荷状態における<math>\sigma</math>力の方向性をも計算予測することが出来る。</p> |     |   |    |      |
| <p>7章「結論」では、本研究を通じて得られた結果を総括的に述べている。</p>   |     |   |    |      |