

塑性変形に伴うアルミニウム合金板の表面粗さ発達の結晶塑性解析

○諏訪将大 (山形大・学生)

吉田健吾 (山形大院)

1. 緒言

金属材料が塑性変形を受けると表面粗さが拡大する。表面粗さの発達は、製品の外観、摩擦・潤滑特性、板材の成形限界を低下させるなどの悪影響を及ぼす。金属材料は様々な結晶方位を持つ結晶粒が集まって構成される多結晶体であり、各結晶粒の変形挙動は結晶方位に依存する。結晶方位の差異による材料の不均質性が表面粗さを発達させる要因である。したがって、表面粗さの発達を解析する際に、解析モデルにおける材料の不均質性の再現が重要になる。

山口・高倉¹⁾は現象論的塑性論に基づいた剛塑性有限要素法を用いて、結晶粒に見立てた要素の変形抵抗に差を与えることで材料の不均質性を表現した。また、中村ら²⁾は結晶塑性理論を用いて、各結晶粒にそれぞれ異なる結晶方位を与えることで不均質性を表した。これらの解析は、表面粗さはひずみと結晶粒径に比例して増大すること、およびひずみ比によって表面粗さの発達挙動が異なるといった実験結果を再現できている。しかしながら、板厚方向の結晶粒数が1個または数個程度しか考慮されておらず、表面層と内部層における結晶粒の相互作用が正確に予測できているか不明である。

そこで本研究では、表面粗さに影響を及ぼす板厚方向の影響範囲を調べる。そのために、結晶塑性有限要素法を用いて、各要素を結晶粒と見立てたモデルで単軸引張解析を行い、板厚方向の高さ分布の変化を調査する。そして、表面と内部層の結晶粒の変形挙動の差を十分に考慮できる表面粗さの解析モデルについて検討する。

2. 結晶塑性理論

単結晶の構成式は Peirce ら³⁾により提案された速度依存型のモデルを使用する。すべり速度 $\dot{\gamma}$ は次式と仮定する。

$$\dot{\gamma}^{(\alpha)} = \dot{\gamma}_0 \operatorname{sgn}(\tau^{(\alpha)}) \left| \frac{\tau^{(\alpha)}}{g^{(\alpha)}} \right|^{\frac{1}{m}}, \quad \dot{g}^{(\alpha)} = \sum_{\beta=1}^N h^{(\alpha\beta)} |\dot{\gamma}^{(\beta)}| \quad (1)$$

α はすべり系、 N はすべり系の総数、 τ は分解せん断応力、 m はひずみ速度感性指数、 $\dot{\gamma}_0$ は基準ひずみ速度である。硬化則 g の発展方程式は次式で与えられる。Taylor の等方硬化を仮定し、 h は以下に示すような n 乗硬化則を用いる。

$$h = h_0 \left(\frac{h_0 \gamma_\alpha}{\tau_0 n} + 1 \right)^{n-1}, \quad \gamma_\alpha = \int \sum_{\alpha=1}^N |\dot{\gamma}^{(\alpha)}| dt \quad (2)$$

h_0 は初期硬化率、 τ_0 は g の初期値、 n は加工硬化指数、 γ_α は全すべり系のすべり量の総和である。

3. 解析モデル

解析モデルは 5000 系のアルミニウム合金板を想定して、ヤング率 $E = 65 \text{ GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ 、 $h_0 = 390 \text{ MPa}$ 、 $\tau_0 = 40 \text{ MPa}$ 、 $n = 0.35$ 、 $\dot{\gamma}_0 = 0.002 \text{ s}^{-1}$ 、 $m = 0.01$ とする。Fig. 1 に解析モデルの概要を示す。20 節点アイソパラメトリック要素を使用し、低減積分 (8 積分点) とする。解析モデルの形状はアスペクト比 $(x, y, z) = (1, 1, 1)$ 、要素分割数は、 $(x, y, z) = (32, 32, 32)$ の 32768 結晶粒とし、1 要素を 1 結晶粒とみなして結晶方位をランダムに各要素に割り当てる。境界条件として、 x, y 軸に関する対称条件、 x 軸方向に強制変位を与えて、単軸引張解析を行った。

4. 結果および考察

公称ひずみ 0.30 における、板表面および内部の板厚方向の

高さを調べる。1 層目 (表面) の高さ分布、および表面の 1 要素分だけ材料をスライスした際の 2 層目の高さ分布を Fig. 2 に示す。表面粗さの山または谷は引張方向 (x 軸方向) に伸長する傾向がある。また、2 層目の山と谷の分布は、1 層目とほぼ一致していた。同様にして、この比較を 10 層目まで行ったところ、下の層に行くにつれて表面 1 層目との一致度合いは小さくなることを確認した。Fig. 3 には 5 層目の高さ分布を示す。1 層目と 5 層目の高さ分布を比較すると、1 層目で山や谷となっている部分が、同じく 5 層目でも山や谷となっている部分がある (図中○)。一方で、1 層目で山となっていた部分が、第 5 層目では谷となっており、凹凸の特徴が逆転している部分も確認された (図中△)。

参考文献

- 1) 山口・高倉, 日本機械学会論文集, **51**-469 (1985), 172-178.
- 2) 中村ら, 日本機械学会論文集, **52**-476 (1986), 1448-1454.
- 3) R. Asaro, A. Needleman, Acta metal. **33** (1985), 923-953.

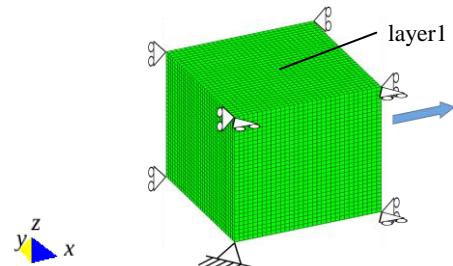


Fig. 1 Geometry of the model and boundary condition

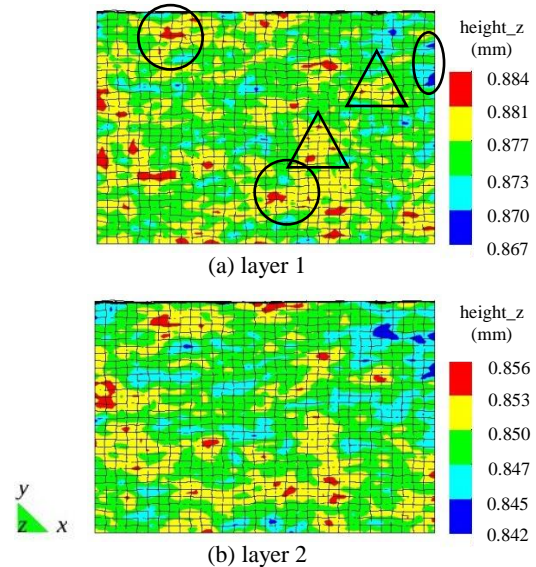


Fig. 2 Height distributions in layer 1 and layer 2.

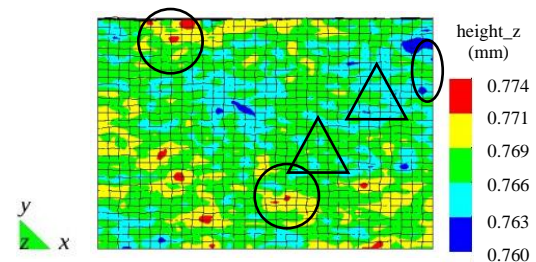


Fig. 3 Height distribution in layer 5.