

# 圧縮ねじり加工を用いた組織制御による 高強度アルミニウム合金の高性能化

成 田 麻 未\*

## Development of the High Strength Aluminium Alloys by Microstructure Control Using Compressive Torsion Processing

Mami MIHARA-NARITA\*

In this study, the effect of compressive torsion processing (CTP) on the microstructure and age-hardening behavior of 7000 series cast aluminum alloy (Al-Zn-Mg alloy) was investigated. Hardness was increased with the aging treatment in all samples, and the hardness level increased in the specimen subjected to CTP. Annealing before CTP reduced the initial hardness, and the hardness was significantly increased with the aging treatment, however the hardness was not higher than that without annealing. In addition, it was assumed that the annealing treatment resulted in a non-uniform grain structure because of the non-uniform deformation.

### 1. 研究背景・目的

輸送機器において、CO<sub>2</sub>排出量削減と燃費向上のために部材の更なる軽量化が進められ、軽量材料として使用されている高強度アルミニウム合金（7000系）においては更なる高性能化が強く求められている。同合金の強度を向上すべく合金組成を調節すると、耐食性が低下してしまう。また、一般に強度と延性はトレードオフの関係にある。高強度と高延性ならびに耐食性を両立する材料を得るためには、材料内部の微視組織を適切に制御可能な新しい加工熱処理プロセスの開発が必要である。そこで本研究では、強ひずみ加工による材料組織の微細化が注目する。この手法により材料内部に巨大なひずみを付与すると、結晶粒が微細化され、同時に合金元素（例えば鉄不純物）を過飽和に固溶させることができる。この過飽和分を時効熱処理にて析出させ分散できれば、鉄不純物を無害化したうえで、結晶粒微細化強化に加え析出強化で高強度化が達成できることが期待される<sup>1)</sup>。また、先行研究では、材料内部に巨大なせん断ひずみを付与するねじり加工法（High Pressure Torsion : HPT）の一種である、圧縮ねじり加工法（Compressive Torsion Processing : CTP, 図1）により、 casting後の結晶粒および晶出物が微細均一化され、特異な局部伸びが発現して延性を大きく向上できることが示されている<sup>2)</sup>。本研究では、圧縮ねじり加工条件や熱処理によってアルミニウム合金の組織を制御し、高性能化することを目的とした。

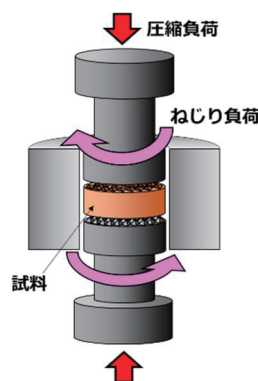


図1 圧縮ねじり加工装置の概要。

### 2. 実験方法

A7050 アルミニウム合金鋳造材(Φ40 mm×10 mm)を供試材とした。加工熱処理条件を図2に示す。本研究では三つの条件で加工熱処理を行った。条件Aでは鋳造材に対して圧縮ねじり加工を行わずに直接溶体化処理および時効熱処理を施した。溶体化処理は475℃にて2時間行い、水冷した。時効熱処理温度は120℃とした。条件Bでは、これら熱処理の前に圧縮ねじり加工を施した。圧縮ねじり加工では、加工温度を室温、圧縮圧力を100MPa、回転速度を5rpm、回転数を30回転とした。条件Cでは、圧縮ねじり加工の前に析出処理を400℃にて8時間施した。得られた試料について、走査型電子顕微鏡による組織観察を行った。また、ピッカース硬度試験により硬度変化を評価した。さらに、電子線後方散乱回折法（EBSD）により結晶粒組織を解析した。

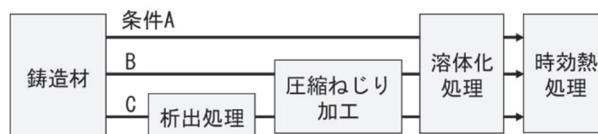


図2 加工熱処理条件。

2023年3月6日 受理

\* 豊田理研スカラー

名古屋工業大学大学院工学研究科工学専攻

### 3. 実験結果と考察

圧縮ねじり加工に伴う金型の温度変化および SEM 組織写真を図 3 に示す。金型の温度は、資料充填部の内壁から 3mm の位置にて行った。回転数の増加に伴い加工発熱を生じ、金型温度は 340℃まで上昇した。また、20 回転加工までは鑄造材の組織から大きく変化しなかったが、30 回転加工を行うと組織が機械的に分断され、晶出物および結晶粒が微細化することが分かった。

図 2 の条件 A, B および C にて作製した試料の、120℃での時効熱処理における硬度変化を図 4 に示す。ここで圧縮ねじり加工の回転数は 30 回転とした。初期（焼入れまま (As. Quenched : A. Q.)) の硬度は、A と比べて B で高くなっており、圧縮ねじり加工による加工硬化が生じたことが示唆される。時効時間の増加に伴い、条件 A および C の硬度は大きく上昇し、今回の測定範囲ではまだピーク硬度に達していなかった。これらの条件の試料については、溶体化処理後に結晶粒が粗大化しており、引張試験の結果においても延性の大幅な上昇が見られなかった。そこで、圧縮ねじり加工前に粗大な第二相粒子を析出させ、変形を均一化することおよび結晶粒粗大化を抑制することを期待して、析出処理を行った（条件 C）。その結果、初期の硬度は低下したが、その後、時効時間に伴い大きく硬度が上昇した。硬度レベルとしては、析出処理を行わなかった条件 B よりも低くなったが、硬度の増加量は最も大きかった。溶質原子のクラスターや GP ゾーンの形成状態や、焼入れ時の溶質原子の濃度分布について、条件によって異なる可能性があるが、現時点では不明である。また、条件 C の試料については、溶体化処理後の結晶粒サイズが不均一であり、400℃での析出処理では析出物の分布が不均一あるいは加工歪みが均一に入らないために、結晶粒が十分微細化しなかったと考えられる。より低温で析出処理を行い変形が均一に入ると、そこへ Zn, Mg, Cu 原子が析出して亜結晶粒を形成し、さらに Zr が粒界に析出すれば、亜結晶粒の成長が抑制され、圧延や押出の場合は高温で再結晶することが抑制されて繊維状組織が得られることが期待される。圧縮ねじり加工を施した場合どのような結晶組織が得られるのか、そしてそれが強度及び延性にどう影響するかについては、今後明らかにしていきたい。

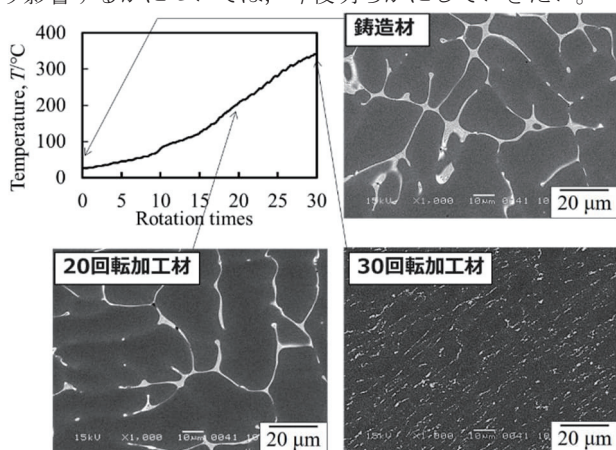


図3 圧縮ねじり加工に伴う金型の温度変化およびSEM組織写真。

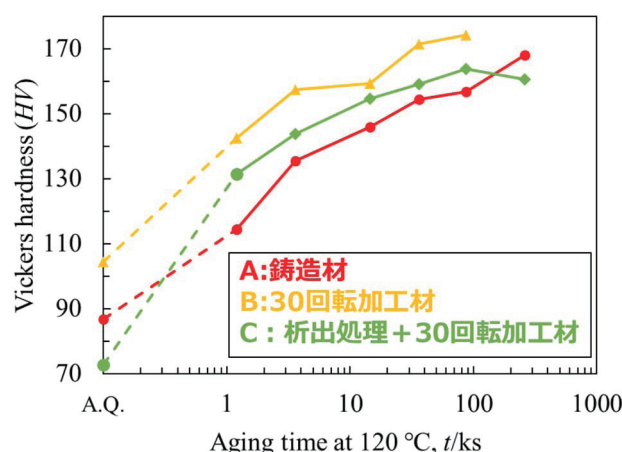


図4 時効熱処理に伴う硬度変化。

### 4. 結言

圧縮ねじり加工時の回転数が 20 回転以下では、加工後に鑄造時の組織が維持されるが、30 回転ではそれらが微細に分断された。時効熱処理に伴っていずれの試料も時効硬化し、圧縮ねじり加工を施した試料では硬度レベルが上昇した。圧縮ねじり加工前に焼鈍処理を施すことで溶体化処理後の硬度は低下し、その後大きく時効硬化したものの、焼鈍なしの場合より高い硬度は得られなかった。また、焼鈍処理は不均一な結晶粒組織となり、加工が均一に入っていないことが予想された。

### REFERENCES

- 1) 堀田善治, 軽金属, **68** (2018) 407-417.
- 2) 細川知希, 久米裕二, 小橋 眞, 金武直幸, 軽金属学会第129回秋期大会概要, 2015, 195-196.