

流体中マグネシウム切削屑の安定化処理法の開発

金属分析室 石川 隆朗, 上原 健

Development of Stabilizing Method of Magnesium Shavings from Cutting in Fluid

Takaaki ISHIKAWA and Ken UEHARA

火災の要因となるマグネシウム切削屑を塩化ナトリウム水溶液に浸漬することにより前もって酸化し、それ以上酸化反応が起こらなくする手法に関して調査を行った。反応速度を加速するため流水中に浸漬することを考えその効果を調査した。また、数値計算を行うことによりリアクタ内の流れ場を予測した。

1. はじめに

マグネシウム合金は実用金属材料中最も比重が小さく、採用することにより軽量、高剛性の部材を作成することができる。近年ではラップトップコンピュータをはじめ、携帯音楽機器などに利用され、機材の軽量化、小型化に貢献している。また、自動車は軽量化を行うことによって大きく燃費が向上するが、マグネシウム合金を自動車に採用することによって燃費の向上が期待され、化石燃料の消費による二酸化炭素ガスの発生を抑えることが可能である。

マグネシウム製品はダイキャスト、もしくは鋳造によって作られるが、その後、切削、研削工程を行わなければならない。切削、研削を行うと切削、研削屑が発生する。切削屑は体積と比較して表面積が大きいいため着火すると激しく燃焼し、火災の恐れがある。

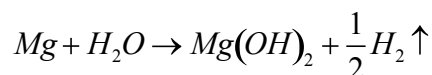
金属マグネシウムをあらかじめ酸化させ、燃焼反応がそれ以上進まないようにすることをここでは安定化処理と定義する。平成 15 年度に行った「マグネシウム切削屑の安定化処理法の開発」では、マグネシウム切削屑を塩化ナトリウム水溶液中に浸漬することによって安定化処理を行った。この研究により塩化ナトリウム水溶液濃度の増加によって安定化速度が加速することが分かった。しかし、塩化ナトリウム濃度を濃くすると、薬品の費用や環境負荷などのコストが大きくなる。

本研究ではマグネシウム切削屑を流水中に浸漬させることにより、安定化速度を加速し、より希薄な塩化ナトリウム濃度で安定化処理が行えることを目標とした。また、本研究では実際の作業が簡便に行えるよう、複雑な機構を用いないよう留

意した。

2. 理論

塩化ナトリウム水溶液によるマグネシウム切削屑の安定化は金属マグネシウムが塩化ナトリウムとは反応せず、以下のような腐食反応であることが分かっている。



腐食反応が進行するためには金属マグネシウムから放出された電子や水素分子が液相中に輸送され、除去されなければならない。また、金属表面に生成された水酸化マグネシウムは反応の阻害要因となるため速やかに除去されなければならない。金属表面の流れ場はそれらの輸送に寄与する。(図 1)

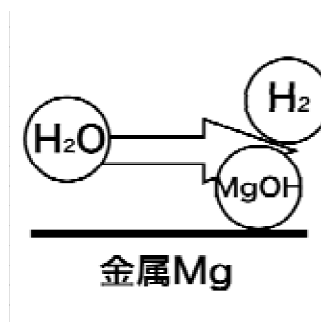


図 1 攪拌水溶液の輸送に対する効果

3. 実験手法

3.1 マグネシウム片の腐食速度に対する流水の効果

図 2 のようなマグネシウム安定化リアクタを作成した。直径 100mm, 高さ 100mm のアクリル製円筒容器に下端が底面から 40mm の位置になるよ

う円筒型の攪拌子を設置した。

一辺の長さが約10mm、厚さ1mmの正方形AZ31マグネシウム片の片面をテープでマスキングし、一辺が壁から10mm、もう一辺が20mmの位置に来るよう設置した。試験終了後、酸化クロム(VI)100g、硝酸銀10g、硝酸バリウム20gを純水1000mlに加えた腐食生成物除去剤に浸漬し、腐食生成物を除去した後、乾燥させ秤量を行い腐食減量を調査した。

攪拌、または静止させた様々な濃度の塩化ナトリウム濃度の水溶液に浸漬させ、種々の条件に対するマグネシウム片の腐食挙動を調査した。

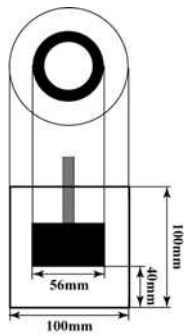


図2 マグネシウム安定化リアクタ

3.2 マグネシウム切削屑の安定化速度に対する流水の影響の調査

AZ91 マグネシウム材を切削した時に生成したマグネシウム切削屑を図2のリアクタ中に浸漬し、攪拌水溶液がマグネシウム切削屑に与える影響を調査した。

過去の研究と同様に浸漬した試料を乾燥後X線回折測定を行い、以下の式を安定化度と定義した。

$$\frac{I_{Mg(OH)_2}}{I_{Mg} + I_{Mg(OH)_2}}$$

ここで I_{Mg} は金属マグネシウムの(1 0 1)面の回折ピーク強度、 $I_{Mg(OH)_2}$ は水酸化マグネシウムの(1 0 1)面のピーク強度である。

3.3 攪拌リアクタ内の流れ場の数値計算

3.3.1 計算手法

リアクタ内の流れ場を数値計算によって解析した。解法はフラクショナル・ステップ法で行った。流れ場の解析は以下のナビア・ストークス方程

式を解くことになる。

$$\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{v}$$

ここで、 \mathbf{v} は速度ベクトル、 t は時刻、 ρ は密度、 p は圧力、 μ は粘性率である。

上の式から圧力の項を取り除いて次の時間ステップの仮の速度を \mathbf{v}^* として前進差分を行うと

$$\frac{\mathbf{v}^* - \mathbf{v}^n}{\Delta t} + (\mathbf{v}^n \cdot \nabla) \mathbf{v}^n = \frac{\mu}{\rho} \nabla^2 \mathbf{v}^n$$

となる。これを解いて \mathbf{v}^* を求める。

この仮の速度 \mathbf{v}^* を用い以下のポアソン方程式より圧力 ϕ を求める。

$$\nabla^2 \phi = \frac{\nabla \cdot \mathbf{v}^*}{\Delta t}$$

これらを以下の式に代入することにより次の時間ステップの速度 \mathbf{v}^{n+1} を求める。

$$\mathbf{v}^{n+1} = \mathbf{v}^* - \Delta t \Delta \phi$$

以上のことを反復して行い時間ステップを進め、計算を行う。

なお、計算格子はスタガード格子を用い、 ϕ の計算は空間で差分を行った連立一次方程式をガウス・ザイデル法で解いた。

3.3.2 計算条件

計算するリアクタは図3のようなものとした。単位長さの立方体のリアクタに高さ0.5、直径0.5の攪拌子を入れた。また、流れ場を制御するために障害物として長さ0.5、高さ0.25の板を挿入した。

境界条件は側壁、底面、内部の板は $(u, v, w) = (0, 0, 0)$ となるようにした。上面は $w = 0$ 、 u 、 v は自由境界条件となるよう設定した。攪拌子はその点の攪拌子の速度を計算し、設定した。

リアクタの評価関数として速度勾配を空間で積分したものを考え以下の式を用いた。

$$f = \int \left(\sum_{i \neq j} \left| \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right| \right) dV$$

ただし $\underline{x} = (x_1, x_2, x_3)$ は位置ベクトル、

$\underline{v} = (v_1, v_2, v_3)$ は速度ベクトルである。

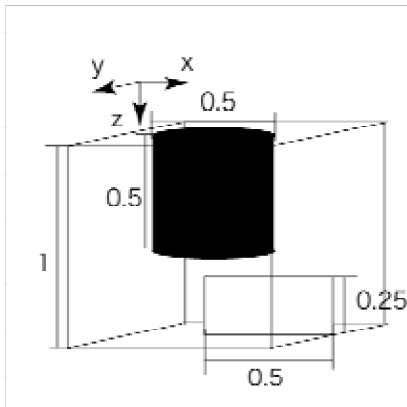


図3 数値解析用リアクタ

4. 実験結果

4.1 マグネシウム片の腐食速度に対する流水の効果

4.1.1 静止水溶液中マグネシウム片浸漬試験

AZ31 マグネシウム片を 10, 30, 50, 100g/l の濃度の塩化ナトリウム水溶液中に浸漬した。(図4)塩化ナトリウム水溶液濃度が高くなるにつれて、腐食速度が大きくなることわかる。

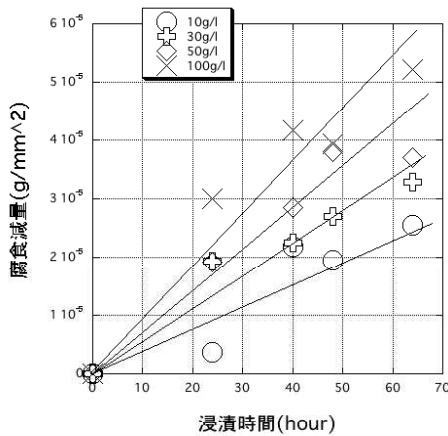


図4 静止水溶液中マグネシウム片浸漬試験

4.1.2 攪拌水溶液中マグネシウム片浸漬試験

AZ31 マグネシウム片を 10, 30, 50g/l の濃度の攪拌子により流れ場が作られた塩化ナトリウム水溶液中に浸漬した。(図5)グラフの傾きと塩化ナトリウム水溶液濃度には関係がないように見える。これは、攪拌によって安定化速度が飽和したためと思われる。

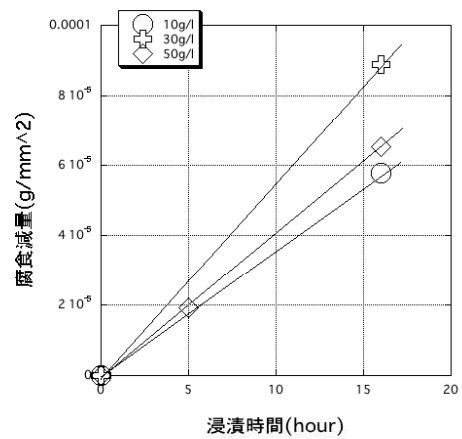


図5 攪拌水溶液中マグネシウム片浸漬試験

4.1.3 静止水溶液と攪拌水溶液の安定化速度に与える影響の比較

静止水溶液、攪拌水溶液の各塩化ナトリウム水溶液濃度に対して最小2乗法を用い、腐食速度を求めた。(図6)

攪拌水溶液中に浸漬した試料は静止水溶液中に浸漬した試料の10倍程度の安定化速度が有ることが分かる。

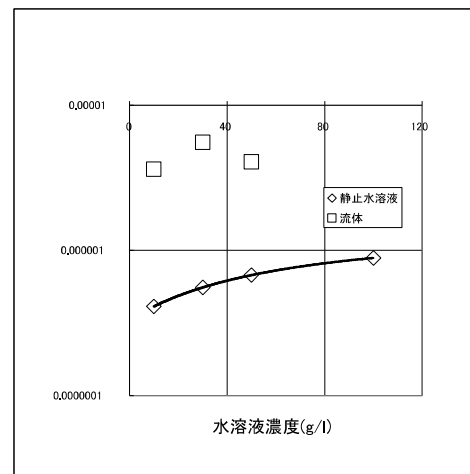


図6 腐食速度に対する流水の効果

4.1.4 攪拌水溶液中マグネシウム切削屑浸漬試験

AZ91 マグネシウム材から採取したマグネシウム切削屑を攪拌、静止水溶液中に浸漬したときの安定度をプロットしたものが図7である。

攪拌水溶液中に浸漬したものは静止水溶液中に浸漬したものに比べて安定化速度が非常に小さい

ことが分かる。これは、図2の構造のリアクタではリアクタ中央に切削屑が集積して静止してしまい、表面上に流れ場が起こらないばかりではなく、生成物の自然な拡散も疎外されたためと思われる。

このため、流水により安定化速度を増加させるためにはマグネシウム切削屑が底部に滞留しないようなリアクタを設計しなくてはならない。

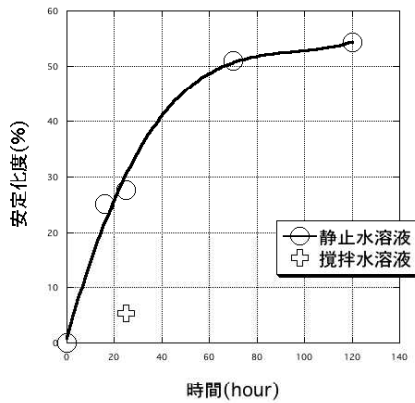


図7 攪拌水溶液の安定化速度に与える影響

4.2 攪拌リアクタ内の流れ場の数値計算

4.2.1 攪拌リアクタ内の流れ場

図3のリアクタ中の x-y 平面に平行な平面で z 座標が底面から 0.25 の平面上の流れ場を図8に示す。中央部にも流れが発生していることがわかる。

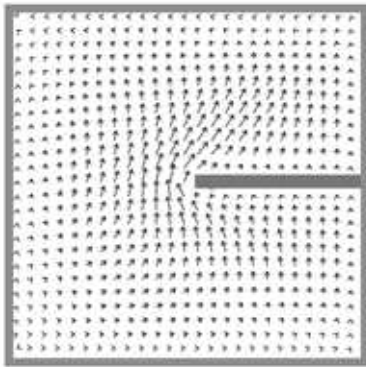


図8 リアクタ内の流れ場

4.2.2 攪拌リアクタ内の流れ場

板の位置を y 軸に沿って動かしたときのリアクタの評価関数の変化を図9示す。

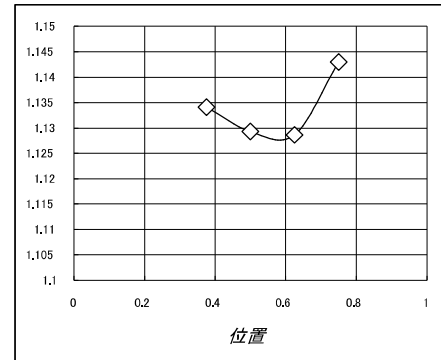


図9 板の位置を変化させたときのリアクタ評価関数の変化

5. 結言

本研究では流水中にマグネシウム片を浸漬し腐食速度に対する流水の寄与を調べた。数値計算を行うことによりリアクタの形状による安定化速度の変化の考察を行った。