

# マグネシウム合金の高機能部材化技術の開発(第2報) 超高速研削ホイール用台金の開発

府山伸行, 藤井敏男, 土取 功

Development of Advanced Functional Technology for Magnesium Alloys (2nd Report)

Development of Core for Super-High-Speed Grinding Wheel

FUYAMA Nobuyuki, FUJII Toshio, and TSUCHITORI Isao

Recently, the development of the super-high-speed grinding wheel is demanded for the high efficiency grinding. In this research, the destruction characteristic of the super-high-speed grinding wheel( 100 × 10t × 15H mm) which used 27vol% Al<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>33</sub> whisker reinforced AZ91D magnesium alloy composite materials for the core was evaluated. To raise the density and to improve the interface of a magnesium alloy and a reinforced material, the core was forged at 703K. As a result, the specific rigidity in the core improved to 36GPa, and destroyed wheel speed was able to achieve 350m/s.

キーワード：超高速研削ホイール, 台金, マグネシウム合金, 複合材料, スクイズキャスト

## 1 緒 言

V/CBNホイールの一般的な使用周速は80m/secであり、通常は鋼製の台金を使用されている。近年になってさらに高能率研削で、かつ、砥石の長寿命化を狙うため、使用周速が100m/secを越える超高速研削ホイールが使用されはじめた<sup>1)</sup>。図1に超高速研削ホイールの断面図を示す。鋼製台金の使用周速は、その重量(比重)と強度・剛性の関係から160m/secが限界である。

超高速研削ホイールの台金には、例えばCFRPが物性面で使用可能である。しかし、CFRP製台金は鋼製に比べ、素材単価や、再利用時の砥石部の剥離方法、廃棄時のリサイクル性などに課題がある<sup>2)</sup>。このため、200m/secにおいても使用可能な物性を持つ軽量で高強度・高剛性の金属系台金材料の開発が望まれている。中でも、実用金属中、最も低比重のマグネシウムをベース素材とし、セラミックスで強化した複合材料は比強度に優れ、新しい金属系台金素材として期待できる。

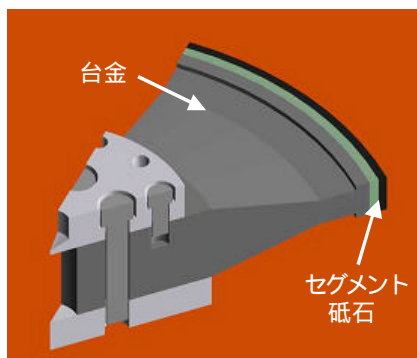


図1 超高速研削ホイールの断面図

本報告では高性能超高速研削ホイールの開発を目的に、前報<sup>3)</sup>で検討したホウ酸アルミニウムウイスカ強化マグネシウム合金複合材料をセグメント方式の台金に使用し、破壊周速(セグメントチップの剥離周速)等の測定を行い、実製品としての適用を検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 台金用マグネシウム合金複合材料の作製

複合材料は強化材予備成形体(プリフォーム)に高压で溶湯を含浸・複合化させるスクイズキャスト法で作製した。強化材料はホウ酸アルミニウムウイスカ(M20:四国化成株)を用いた。体積率は27vol%とし、バインダーは用いなかった。試作台金用に100mm円盤形状の複合材料を作製するため、高压含浸金型を設計し、490kN油圧プレス機を用いてマグネシウム合金溶湯を含浸させた。図2に複合材料の作製工程を示す。マトリックスには燃焼防止用に1mass%程度のカルシウムを添加したAZ91Dマグネシウム合金を用いた。

### 2.2 複合材料台金による超高速研削ホイールの試作

試作した超高速研削ホイールはセグメントタイプである。サイズはチップ取り付け状態で100 × 10t × 15H mm、単純なストレート形状の台金とした。セグメントチップは11分割とし、台金との接着はエポキシ系の接着剤を使用した。試作品の評価として、4inchタービン式スピネスターによる回転破壊試験を行った。回転上昇速度は毎秒あたり300回転である。比較材はSCM435とした。

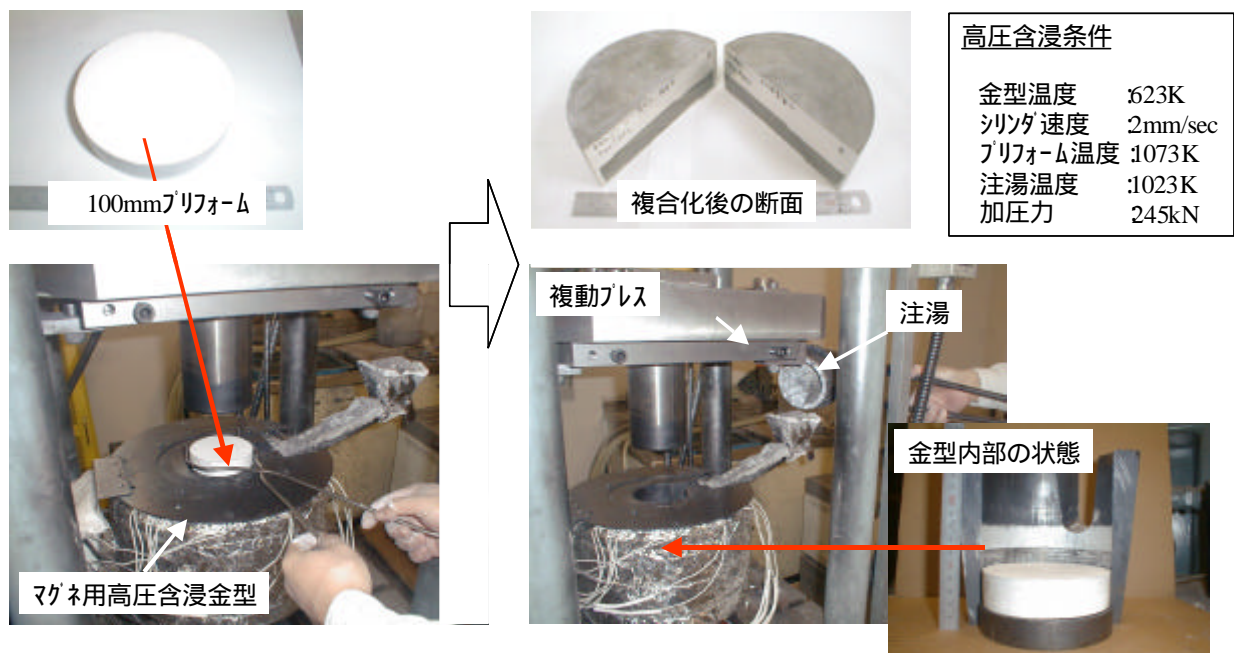


図2 油圧プレス機を用いたスクイズキャスト法による複合材料の作製

### 3 実験結果および考察

#### 3.1 台金用複合材料の機械的特性

前報で検討したスクイズキャスト条件をもとに、複合部の割れ、潰れ等を抑えた27vol%ホウ酸アルミニウムウィスカ強化AZ91Dマグネシウム合金複合材料を作製した。次にスクイズキャスト後の複合材料に対し、ポアの減少や強化材界面の接合状態の改善を目的とした恒温鍛造（緻密化）処理<sup>4)</sup>を行った。恒温鍛造温度は703K、圧下率は約15%、塑性面圧は588MPaとした。

緻密化処理の結果、複合材料の引張強度は1.2倍程度向上して480MPaとなった。引張試験後の破断面は緻密化処理によって大幅にマイクロクラックが減少していた。また、緻密化処理前は引張強度にバラツキがあ

ったが、緻密化処理後は大幅に減少した。これは鑄造時のポアの減少による影響と推定される。弾性率も強化材料界面の接合強度等が改善されたためか、8GPa向上し、78GPaとなった。この値は $\sigma_{cox}$ の複合則<sup>5)</sup>を用いた計算結果にほぼ一致している。

表1に開発材料および比較材料の機械的特性を示す。開発材料の特性は、CFRP等の比較材料をもとに設定した目標値を下回ったが、比剛性がCFRPを上回り、対象材料中で最大となった。試作する研削ホイールは回転体であり、その周方向伸びは比重と弾性率に大きく依存する。このため、比剛性の向上が研削ホイールの破壊特性向上に大きく寄与すると考えられる。

表1 開発材料および比較材料の機械的特性<sup>6)</sup>

|                                 | 開発目標値 | 開発材料  | 比較材料           |      |                   |               |
|---------------------------------|-------|---|----------------|------|-------------------|---------------|
|                                 |       | Mg複合材料<br>(27vol% Al <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>33</sub> w/AZ91D) | Fe<br>(SCM435) | CFRP | Ti<br>(Ti-6Al-4V) | Mg<br>(AZ91D) |
| 比重                              | 2.50  | 2.16  | 7.86           | 1.60 | 4.43              | 1.80          |
| 引張強度 (MPa)                      | 600   | 480   | 930            | 500  | 930               | 250           |
| 引張剛性率 (GPa)                     | 100   | 78  | 206            | 54   | 106               | 45            |
| 線膨張係数<br>( $\times 10^{-6}/K$ ) | 12.0  | 19.8  | 12.0           | 1.5  | 8.8               | 27.3          |
| 比強度 (MPa)                       | 240   | 222   | 118            | 313  | 210               | 139           |
| 比剛性率 (GPa)                      | 40    | 36  | 26             | 34   | 24                | 25            |

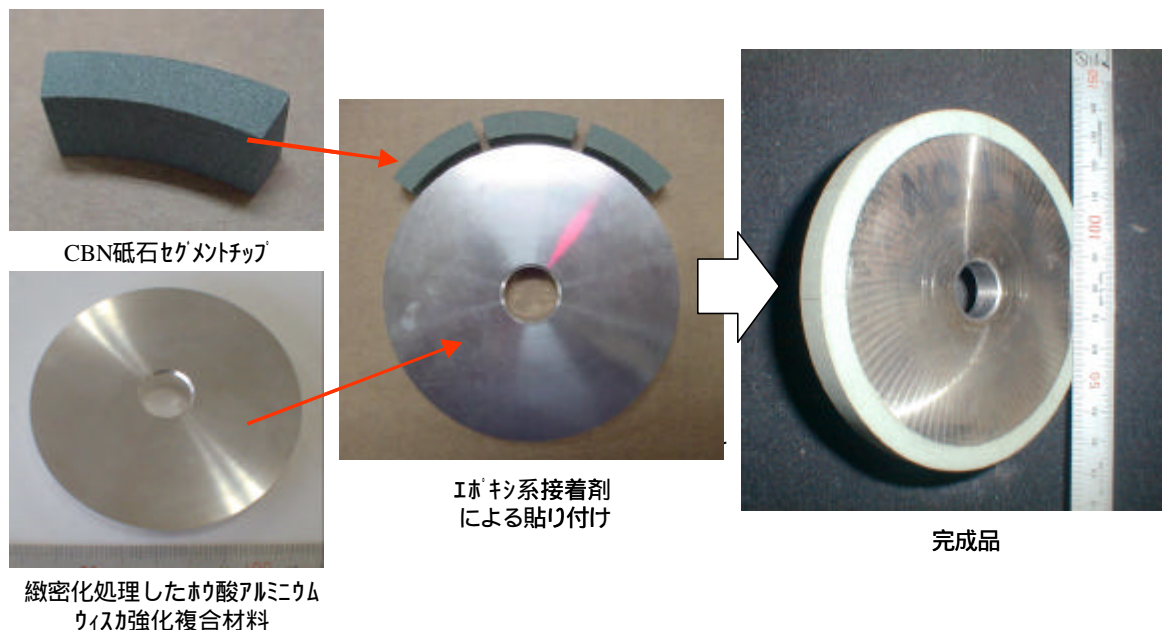


図3 マグネシウム合金複合材料を用いた超高速研削ホイールの製作工程

### 3.2 複合材料台金による超高速研削ホイールの試作

緻密化処理した複合材料を使用し、セグメントタイプの超高速研削ホイールを試作した。図3にマグネシウム合金複合材料を用いた超高速用研削ホイールの製作工程を示す。試作した 100mmサイズのホイールの重量は、マグネシウム合金複合材料の場合で154gであり、比較材料であるSCM435の486gと比べ1/3となり、大幅な軽量化が図れた。

### 3.3 複合材料を用いた超高速研削ホイールの回転破壊試験

図4に複合材料を用いた超高速研削ホイールの回転破壊試験結果を示す。試作品は周速350m/sec付近で破壊し、全周のセグメントチップが剥離していた。一方、比較材のSCM435は周速280m/sec付近で破壊した。

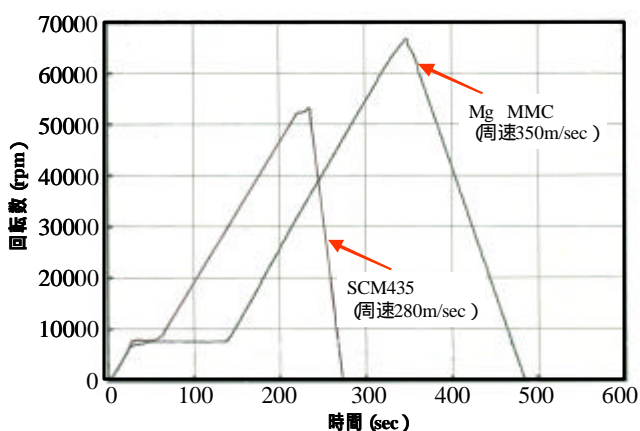


図4 マグネシウム合金複合材料を用いた超高速研削ホイールの回転破壊試験結果

試作した複合材料台金は均質性が高く、均一伸びが生じて、破壊時に全周のセグメントチップが同時に剥離したと思われる。また、その剥離箇所は砥石側の接着層であり、エポキシ樹脂内やエポキシ樹脂/台金界面で剥離していないことから、複合材料とセグメントチップの接着が非常に良好であったことを表している。このように、複合材料台金が鉄系台金と比較し、1.25倍の優れた破壊周速特性を有していることがわかった。

### 3.4 試作台金の穴部に働く応力と外半径の伸び

今回試作した 100mmサイズのホイール物性値に関し、台金穴部に働く応力と外半径の伸びを計算した。特に外半径の伸びはセグメントチップの剥離につながるため、低く押さえることが重要である。比較材料はFe、CFRP、Ti、Mgを対象とし、これらの基本物性は表1のデータを用いて計算した。

図5に各種素材を台金に使用した場合のホイール周速と台金穴部にかかる応力の関係および外半径伸びの関係（計算値）を示す。今回試作した平型の単純形状については次の一般式で計算可能である。

台金穴部に働く応力  $\sigma_{max}$  と外半径の伸び  $u$  は、

$$\sigma_{max} = \frac{\rho \omega^2 \{ (3 + \nu) d^2 + (1 - \nu) h^2 \}}{4}$$

$$u = \frac{\rho \omega^2 d \{ (3 + \nu) (1 - \nu) (h^2 + d^2) - (1 - \nu^2) d^2 + (3 + \nu) (1 + \nu) h^2 \}}{8E}$$

$\rho$  : 台金密度  $d$  : 台金外半径

$\omega$  : 角速度  $h$  : 台金内半径

$\nu$  : ポアソン比  $E$  : ヤング率

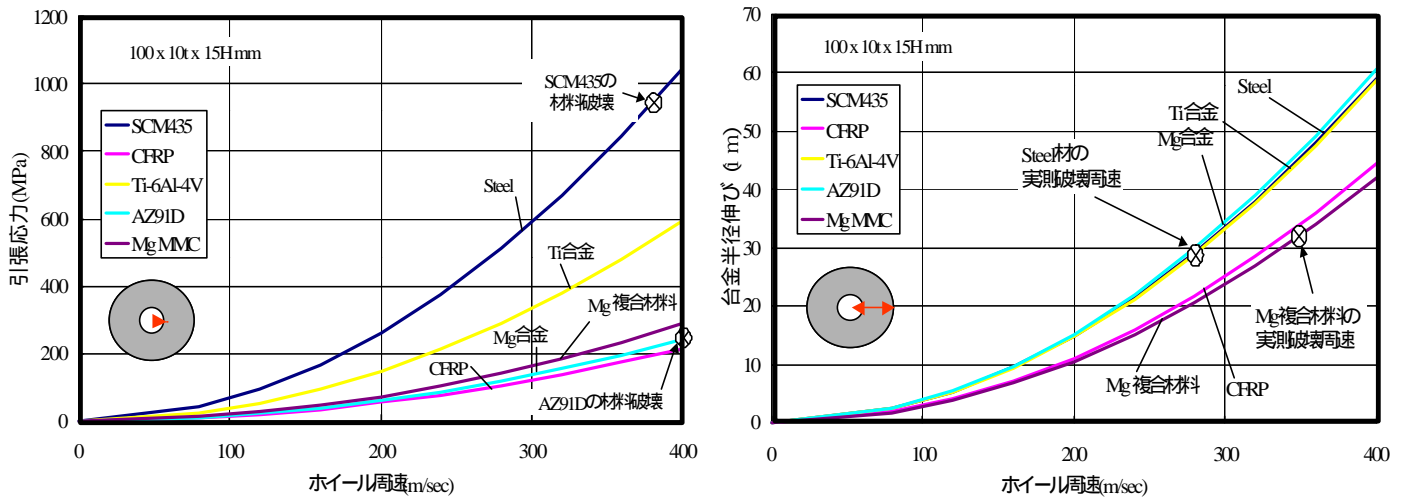


図5 各ホイール周速における台金穴部にかかる応力および外半径伸びの関係（計算値）

セグメントチップが剥離した破壊周速の実測値における半径伸びは、複合材料、SCM435ともに $30\ \mu\text{m}$ 前後であり、計算値と実測値がほぼ一致している。つまり、CFRPは計算結果から $330\text{m/sec}$ 付近で破壊すると推測される。このため、複合材料が対象材料中、CFRPとともに最も優れた台金物性であることがわかった。また、複合材料の穴部にかかる応力は、破壊周速 $350\text{m/sec}$ 付近で $200\text{MPa}$ かかるが、破壊応力 $480\text{MPa}$ の $1/2$ 以下であるため、台金そのものが破壊する恐れはない。

一般に研削砥石における回転破壊の安全保証は、ホイールの回転破壊周速が使用周速の2倍以上である。今回試作した $100 \times 10\text{t} \times 15\text{H}$  mmの形状は試験的な簡易形状であり、実際には図1に示すような有限要素法により解析した最適形状を有し、大きさは $250\text{mm}$ 程度である。つまり、 $250\text{mm}$ 形状で使用周速が $200\text{m/sec}$ 用の場合、破壊周速は $400\text{m/sec}$ 以上必要である。今回試作した $100\text{mm}$ サイズの回転破壊試験において、各種台金の半径伸びが $30\ \mu\text{m}$ 付近で破壊することが推定できた。これは、台金の半径を基準とした歪み量が $0.006\%$ に相当する。この歪み量は実用 $250\text{mm}$ 形状では、半径伸び $75\ \mu\text{m}$ 付近である。

マグネシウム合金複合材料台金は実用 $250\text{mm}$ 形状で使用されている台金素材のCFRPと同様に優れた物性値と回転破壊特性を持つことから、新しい軽量金属系台金素材としての利用が期待される。

#### 4 結 言

使用周速 $200\text{m/sec}$ 用の高性能超高速研削ホイールの開発を目的に、セラミックス強化マグネシウム合金複合材料を台金に使用した研削ホイールを試作し、破壊特性等を評価した。

台金用に作製した $27\text{vol}\%$ ホウ酸アルミニウムウイスカ強化AZ91Dマグネシウム合金複合材料は恒温鍛造処理によって、比剛性が $36\text{GPa}$ まで向上した。この複合材料を台金に使用した研削ホイール（ $100 \times 10\text{t} \times 15\text{H}$  mm）は、破壊周速 $350\text{m/sec}$ を達成し、これまでに実用化されているCFRP台金と同等性能を得ることに成功した。

なお、本研究は中小企業技術開発産学官連携促進事業により実施した。終わりに、ご協力いただいた西日本クレノトン販売(株)、住野工業(株)他関係者に深く感謝致します。

#### 文 献

- 1) 小林:砥粒加工学会誌、44 (2000) 8,14
- 2) 特開2000-141231
- 3) 府山他:広島県西部工技研究報告、44(2001),36
- 4) CHU W G:J.Mater.Sci.、34(1999)3,565
- 5) D.Hall:複合材料入門 培風館 (1983) ,87
- 6) 小倉:砥粒加工学会誌、44 (2000) 8,20