

# 溶射の多目的利用に関する研究

## —溶射利用による金型作製—

機械金属室 比嘉眞嗣・國吉和男・日高史朗\*

### 1. 緒言

溶射は、種々の熱源を用い熔融状態あるいはそれに近い状態に加熱した金属、セラミックス、サーメット、プラスチック、ガラスなど多くの溶射材料の粒子または粉末を素材面に高速で衝突させて皮膜を形成する表面処理法の一つで、近代産業の重要な地位を占めるようになってきている。<sup>1-3)</sup>

沖縄県に於いては、これまで防食の観点から、溶射技術が検討されてきており亜鉛溶射、アルミニウム溶射等、重防食施工で活用されてきている。一方、溶射は、防食のみにとどまらず、各種の表面処理例えば装飾、耐摩耗、耐熱、断熱、導電、絶縁等その応用は多岐にわたっている。<sup>3)</sup>当工試においてもその利用法について種々検討しているところである。

ところで、金型とは製品の加工を行うためのツールの一つであり、各種産業において主要な部品の一つである。これまでも、本県における金型製作の必要性、重要性を問い、関連の研究を進めてきた。<sup>4)</sup>一般に、金型では製品の設計を受けて金型設計を行い、さらに金型を製作するための機械加工、放電加工を中心にした部品加工が行われ、最終的に組み立てられて金型ができる等手数がかかる。一方、金型製作が高価となると製品1個あたりの金型負担費が高まり、商品価格にも影響する。また、商品の多様化で多品種小量生産の傾向になり製品コストに占める金型費の割合も大きくなっている。そのため、安価で短時間に金型を製作する技術が求められている。<sup>5,6)</sup>

アーク溶射法による金型作製は、被溶射物に与える温度が低いためマスターモデルの材質には金属、木、樹脂、皮など多くのものが使用でき、皮膜の熱変形や収縮が少なく寸法制度、転写性がよいため、マスターモデルに忠実な金型を短時間に安価に製作することができるなど簡易金型として注目されている。<sup>7-9)</sup>

本研究は、このような溶射の多様性に着目し、溶射による金属膜作成を利用し工芸用ガラスのプレス金型製作を目標に、型作製での基本的項目である溶射皮膜の機械的特性やマスターモデルへの熱の影響等について、溶射条件および型製作方法の面から種々検討したものである。

### 2. 実験方法

金型材料となる溶射材は、入手が容易な軟鋼溶接用ワイヤー (YGW12) と収縮率が低く、肉盛り材として利用度の高いステンレス溶射材料である (SUS420J2) の2種類を用いた。表1に使用した溶射材の化学成分を示す。

表1 溶射材の化学成分 (wt%)

溶射装置は、対象物に対する熱の影響と溶射量の効率の点からアーク溶射装置を使用した。溶射ワイヤー径は1.6mmである。  
マスターモデル作製は耐熱エポキシ樹脂を用

溶射材	C	Si	Mn	P	S	Cr
YGW12	0.09	0.44	0.96	0.012	0.012	—
SUS420J2	0.30	0.22	0.45	0.03	0.03	12.0

\*) 琉球大学機械工学科

いて作製したので通常の溶射条件で直接溶射した場合は、被溶射材に与える熱の影響が高いので、通常の溶射条件よりもかなり離れた状態で行い、溶射条件の一つである電流、電圧も低めに抑える必要がある。また、溶射時間も当然熱の上昇に影響をもたらすので溶射時間及び休止中での空冷時間も重要な因子となる。<sup>7)</sup>

また、溶射膜利用による型作製であるので最終的には、通常の溶射と違い溶射膜をモデルから離型させなければならない。即ち、通常の溶射膜の密着度と逆の検討をしなくてはならない。これらの条件を把握し金型作製を可能ならしめるため以下の項目について順次検討した。

### 2. 1 溶射方法

通常の溶射と違い、溶射膜自体の機械的性質よりも被溶射物（マスターモデル）に与える熱の影響が重要視されるので、溶射時間と空冷時間の検討を行った。溶射材にYGW12を用い、6mm×6mm板厚2mmのSS400の裏面中央部に熱電対をセットし表2の条件であらかじめプラストを施した表面の1点に向けて間断溶射を行って被溶射材の温度変化を調べた。

表2 実験条件

実験条件	水 準
溶射方法 (Sec) (溶射+空冷時間)	10+10, 15+15, 20+20
溶射距離 (mm)	200, 300, 400,
溶射電流 (A)	60, 70 90
溶射電圧 (V)	30 固定

### 2. 2 溶射皮膜の特性試験

溶射皮膜の特性把握のために前項同様の形状の試験片に表3の条件で溶射を行い試験片を作製し、膜厚、硬さ、表面あらさを測定し且つ、溶射面の断面観察、溶射面のSEM観察を行った。溶射方法は溶射ガンを走行台車に固定し、溶射速度3.6m/minで一定とし、同一横方向に10パス溶射後溶射面をほぼ室温に下がるまで空冷し加熱を避けて10回繰り返しの溶射膜を作製し試料とした。

表3 実験条件

実験条件	水 準
溶射材	YGW12, SUS420J2
溶射距離 (mm)	(200), 300, 400, 500
溶射電流 (A)	50, 70
溶射電圧 (V)	30 固定

### 2. 3 樹脂型への溶射

溶射で金型を作製するため、エポキシ樹脂をマスターモデルとして用い、溶射による樹脂への影響や温度変化、および樹脂への離型剤の添加量等について調べた。溶射試験片は

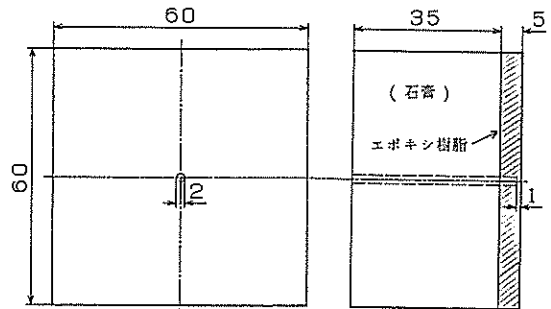


図1 溶射試験片

図1のように実際のマスターモデル作製と同一のものとするため、エポキシ樹脂にガラス繊維で補強した約5mm厚さの面を石膏でバックアップし固めた試験片を用いた。温度測定のため、図のように樹脂の厚さが1mmのところ測定できるように裏から2mmの穴をあけた。

#### 2. 3. 1 離型剤の配合量

離型剤は、水ガラスに、マスターモデル（灰色）への塗布の確認と耐熱性を持たすため、赤褐色の酸化第2鉄（通称ベンガラ $Fe_2O_3$ ）を混ぜ水で練って作ったものを利用した。配合比は、ベンガ

ラを一定にして水ガラス濃度のみを10%~90%と変化させて行い、溶射膜の密着性を目視でチェックした。溶射条件は、溶射材にSUS420J2を用い、溶射距離400mm、溶射電流60Aで手動で左右上下各4パス合計8パスで2パス毎に空冷した。

### 2. 3. 2 温度上昇

前項の実験結果から離型剤の適正添加量(水ガラス50%)で塗布した試験片を利用して表3の溶射条件(溶射距離300~500)で溶射を行った。溶射方法はガンを自動走行台車に取付け溶射速度3.6 m/min一定で行い、横2パス溶射後、60sec空冷し、これを10回繰返した。

### 2. 4 溶射金型の試作

対象金型はガラスのプレス金型を想定しているため、市販のガラス皿を利用し型作製を試みた。全体の作業工程を表4に示す。本実験では、溶射材料としてSUS420J2を使用した。溶射条件は、これまでの実験結果を参考に溶射距離400mm、溶射電流70Aを採用し、溶射方法は、横1層縦1層(各6パス)溶射後、60sec空冷の繰返しで行った。

## 3. 実験結果及び考察

### 3. 1 溶射方法

図2に溶射距離200mmから試験片の一点に10秒間隔で溶射したときの溶射電流の違いによる溶射時間と温度の関係を示す。初回10秒の溶射でいずれの電流値でも100℃を越え90Aでは400℃以上となり、きわめて高温に達することがわかる。図3に、同一条件で溶射距離を400mmとしたときの結果を示す。200mmと比較していずれの電流値においても温度低下が顕著となっていることから、溶射距離は溶射表面温度に大きな影響を与えている。また、図4に示すように、溶射距離400mmで溶射時間20秒と長くした溶射温度の傾向からも溶射時間より溶射距離の影響が著しい。したがって、溶射距離は溶射の重要な要因である。

表4 金型作製の作業工程

- ①、製品モデルから、石膏で反転型をとる。
- ②、①に樹脂用の離型剤を塗布する。
- ③、②にエポキシ樹脂を流しガラス繊維で補強する。5mm以上
- ④、さらにしっかりしたモデルとするために石膏でバックアップする以上で溶射用マスターモデルが作製される。
- ⑤、表面を離型材塗布のためプラストをかける
- ⑥、⑤に離型材(水ガラス+ペンガラ)を塗布し乾燥させる。
- ⑦、溶射を行う。
- ⑧、溶射型の離型のため水に浸漬して脱型する。
- ⑨、金型をバックアップして補強する。

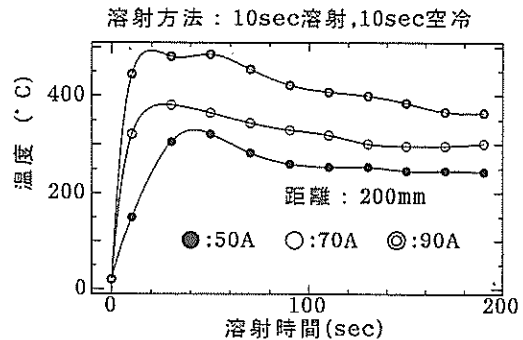


図2 溶射面温度(200mm)

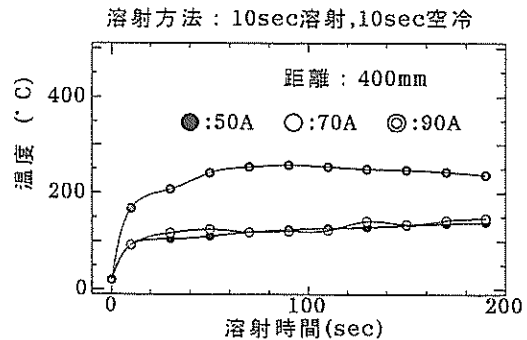


図3 溶射面温度(400mm)

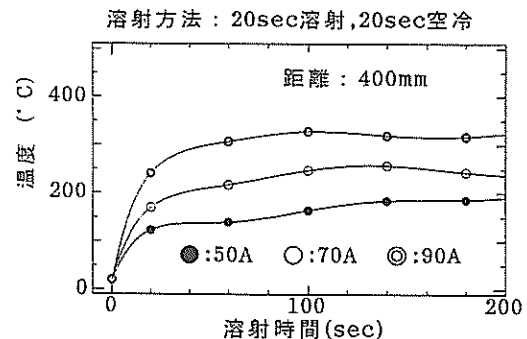


図4 溶射面温度(400mm)

### 3. 2 溶射皮膜特性

#### 3. 2. 1 溶射膜厚

図5に溶射距離と膜厚との関係を示す。両材料とも溶射距離が長くなるに従い膜厚は薄くなっている。アーク溶射の場合は、ある広がりをもった形で周囲にスプレーされるので距離が長くなると溶射密度が薄くなり溶射粒子量や積層量も少なくなるものと考えられる。電流値による影響は、電流値を高くすることはワイヤーの送給スピードを速くすることであり、それだけ溶射量を増すことになり、その結果膜厚の増加が認められる。なおこの膜厚の値は溶射パス数が100パスの時の値であり1パスの数値(数十 $\mu\text{m}$ )が割り出せるので溶射条件の違いによる溶射膜厚のおよその目安となり得る。

溶射材による違いは、SUS420J2の方がYGW12よりも膜厚は約1.5倍厚くできる結果となった。その理由として、ステンレスの方が圧縮強度が高いので衝突の際、粒子の偏平が弱くなるため膜厚増加につながるのではないかと考えられる。

#### 3. 2. 2 硬さ

図6に電流値の違いによる溶射距離と溶射断面の中央部の硬さとの関係を示す。両材料とも線材の硬さはHV265と同じ硬さとなっているが溶射皮膜部はSUSの場合はマルテンサイト系のため熱の影響で焼入れ効果をもたらす硬度が約HV350と増している。軟鋼用であるYGW12は溶射後も硬さ変化はなく硬度は線材とほとんど同じ値であった。また、図から硬さは電流値、溶射距離に殆ど影響されないこともわかった。

#### 3. 2. 3 溶射表面あらさとSEM観察

図7に電流値の違いによる溶射距離と表面あらさとの関係を示す。溶射面の表面あらさは、いずれもRmaxが50~80 $\mu\text{m}$ で一般に粗い傾向であり電流値、距離による違いは明瞭ではなかった。写真1に溶射表面のSEM観察結果を示す。表面あらさと同様全体的な違いは明瞭ではないが、電流値が高く、溶射距離が短い場合は溶射粒子が面に衝突し全体を覆うような形態が観察される。また面が粗いため、溶射膜作製後の型強化用バックアップ材の密着度を高めるためにも都合がいいことがわかる。実際の金型では、モデル側の離型剤を塗布した面が転写されるので、裏面については特に問題はないと考える。

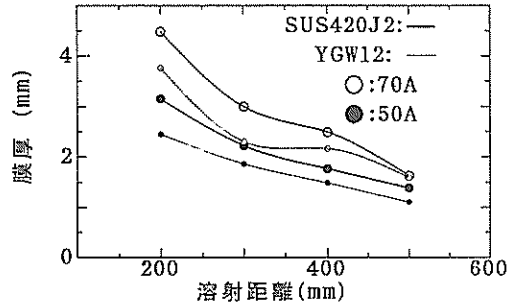


図5 溶射膜厚

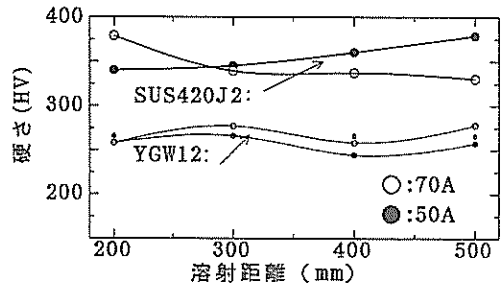


図6 硬さ (HV)

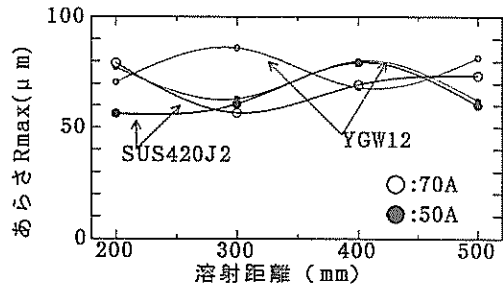


図7 表面あらさ (Rmax)

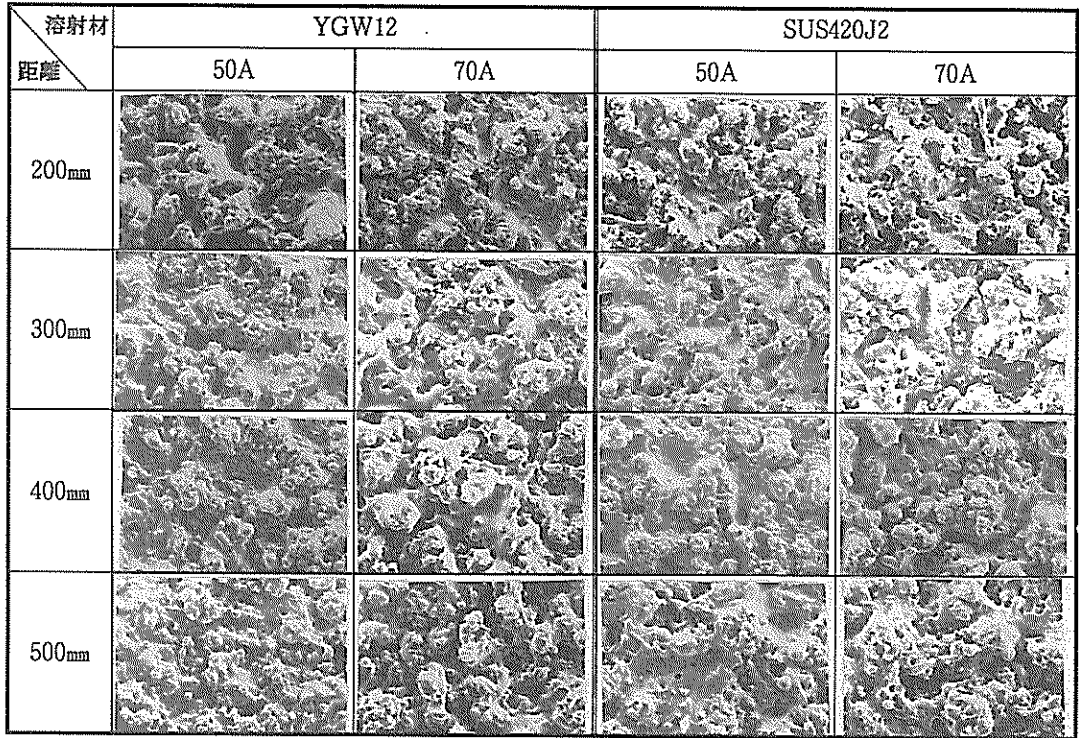
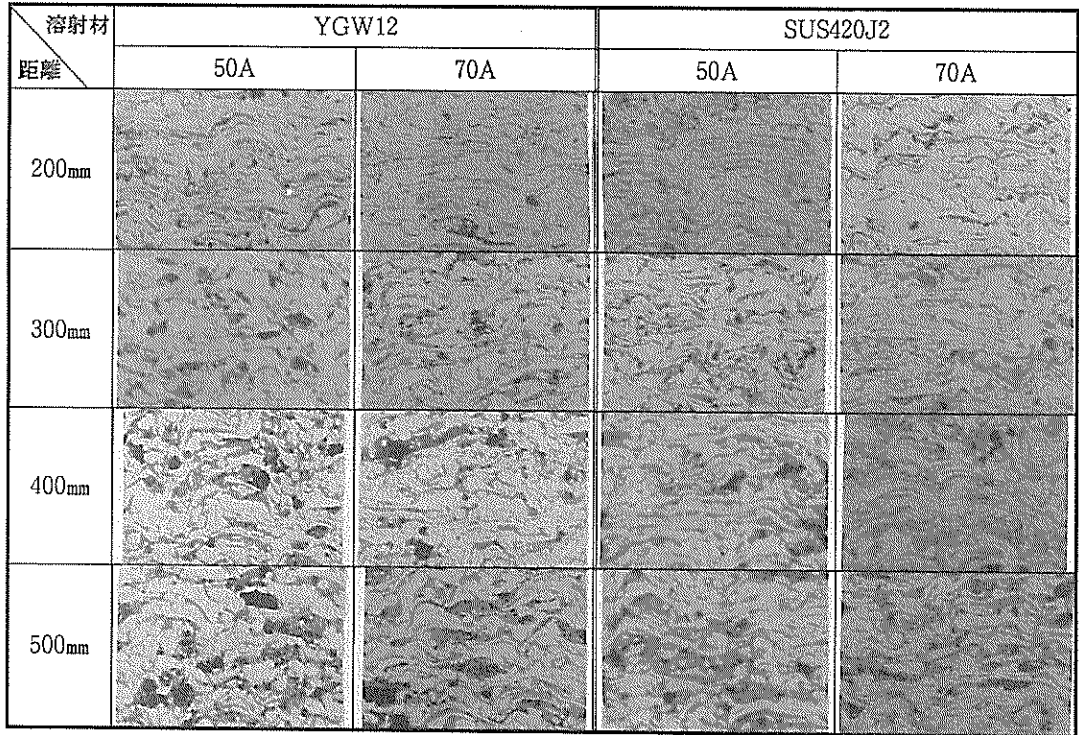


写真1 溶射面のSEM写真



100 μm

写真2 溶射層断面組織 (×100)

### 3. 2. 4 溶射断面組織

写真2に溶射した試験片の断面写真を示す。電流値が小さく溶射距離が長い場合は、いずれの溶射材も粗で、溶射層に酸化膜と見られる介在物が増えていく傾向を示す。この傾向は特にYGW12が顕著である。電流値の影響では、両溶射材とも電流値70Aの方が緻密となっている。従って緻密な溶射膜を作るには電流値は高めで距離は近い方がよい結果を与える。

### 3. 3 樹脂型への溶射

#### 3. 3. 1 離型剤の配合比

写真3に実験結果の代表例を示す。水ガラス添加量が低濃度（10%～30%）の場合は溶射後すぐ剥離し型作製ができなかった。また逆に高濃度（60%～90%）にすると低濃度の場合よりは顕著ではないが剥離がみられた。中間の40%～50%の水ガラス濃度においてはじめて剥離現象が見られず良好となった。

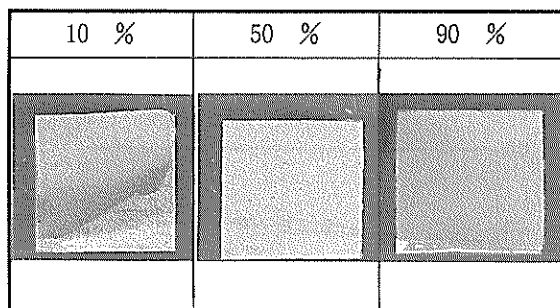


写真3 水ガラスの添加量の影響

その起因としては、低濃度の離型剤は水ガラスのバインダー効果が弱く剥離しやすく、また逆に高濃度だと緩衝材としての柔軟性が無くなるからではないかと考えられる。したがって、本実験の水ガラス濃度は50%の配合比を利用することとした。

#### 3. 3. 2 マスターモデルの温度変化

図8に実験結果の一例を示す。2パス後60秒空冷で溶射を行うので実際の温度変化は図のように鋸刃状の温度変化で推移するが、マスターモデルの温度は高温部が重要であるので比較検討のため高温部のみで整理した。図9、図10に溶射材SUS420J2で溶射電流50A、70A毎の溶射距離の違いによるマスターモデルの温度変化を示す。電流値が同じだと、マスターモデルに与える熱の影響は距離にはあまり左右されず、ほぼ同じ温度変化を示す。

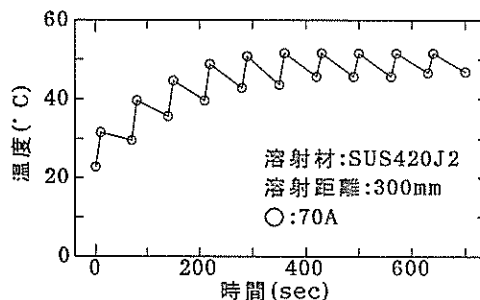


図8 溶射面の温度変化

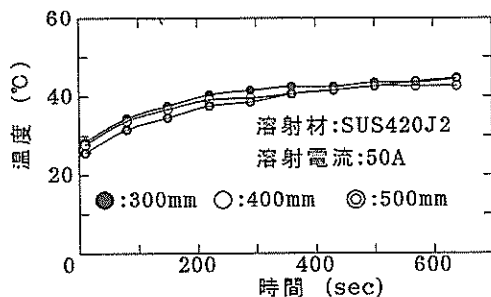


図9 溶射面の温度 (50A, SUS)

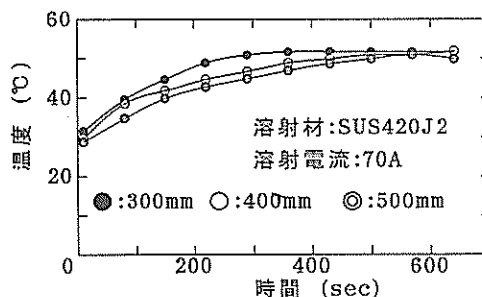


図10 溶射面の温度 (70A, SUS)

一点に集中して一定時間溶射した場合は、距離による影響が大であったが、実際の溶射の場合は間断溶射で行うので、熱の蓄積がされず温度も50℃以上の高温にはならないことが確認され、また溶射を繰り返すほど、(今回は10回)マスターモデルの温度も一定温度(40~50℃)に近づき安定する。しかしながらそのときの温度は、電流値が高いと若干高くなる傾向があり溶射電流の影響が一応認められる。図11、図12は溶射材がYGW12の場合であり、それぞれの傾向はSUS420J2とほとんど同じである。なお、YGW12材の場合300mmでは近すぎるため剥離が生じ測定不可能であった。したがって一定電流値の下ではマスターモデルの温度上昇も一定に近づき、溶射距離の変動も少ないことがわかり、手動による溶射金型作製にはきわめて都合がよい結果となった。すなわち電流調整と空冷時間を注意すればそれほど問題なく溶射膜作製が可能である事がわかった。

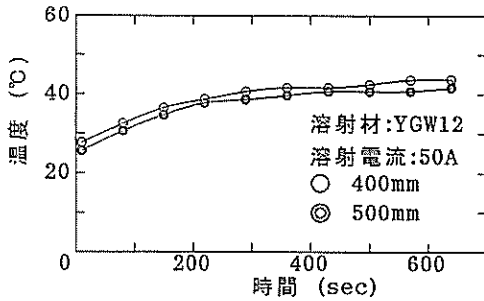


図11 溶射面の温度 (50A、YGW12)

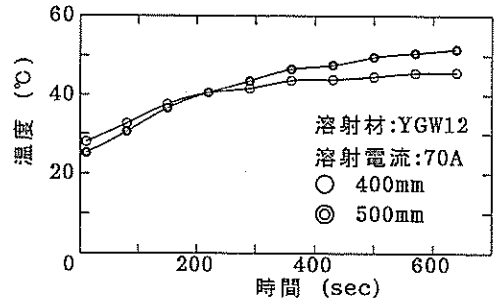


図12 溶射面の温度 (70A、YGW12)

### 3. 4 溶射金型の試作

写真4に金型作製の作業状況を示す。試作に用いたモデルが皿型の平坦すぎる面であったため垂直方向からの溶射では溶射金型の周辺部が熱による変形でモデルの外側に反り、マスターモデルから剥離した。更に、溶射金型にもその原因で亀裂が入るなどの欠陥が生じた。その欠陥防止対策としてマスターモデルの型への溶射を周辺部の側面まで溶射を施し、内側に型を巻き込むように溶射を

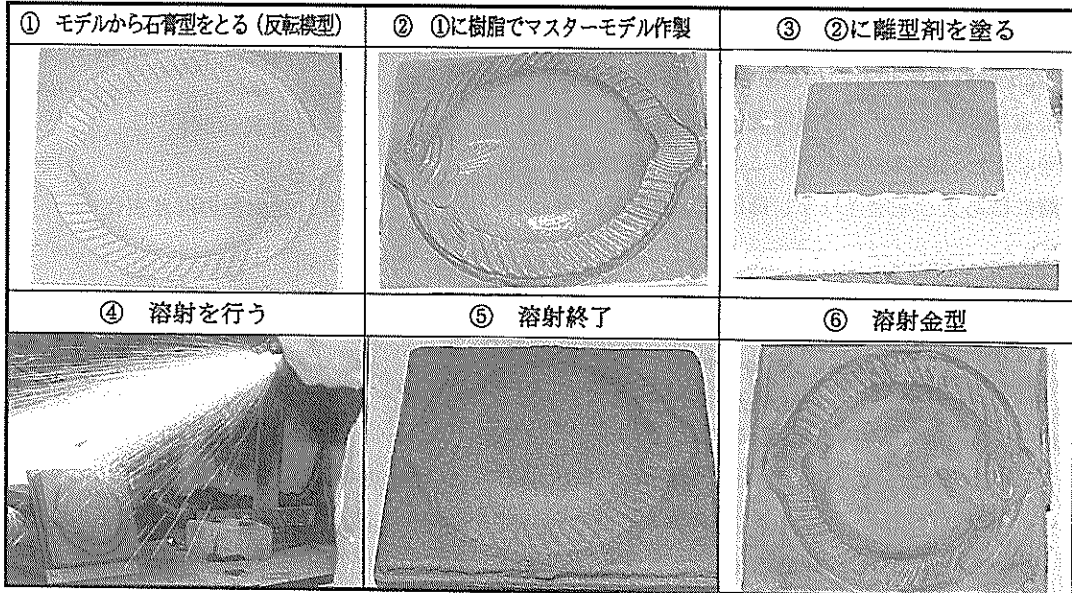


写真4 金型作製状況

行い、溶射型の収縮に伴って逆にマスターモデルの型を抱くように施すことによって反りを防止し、同時に、溶射量を減らして膜厚も薄くした。その結果、型の収縮変形を抑えることができ、ほぼ実用に耐え得る溶射金型を試作することができた。

#### 4. 結 言

アーク溶射により金型を製作する場合の基礎となる溶射条件を把握するために、マスターモデルの温度上昇および皮膜特性について検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 溶射による素材の温度は、一点に集中的に行うと数100℃の高温になるが、溶射距離を長くすることにより素材温度は容易に下げることができる。
- (2) 溶射膜厚は、溶射距離が短いほど、また、溶射電流が高いほど厚く積層できる、肉盛溶射の場合は、できるだけ溶射距離を短く、溶射電流を高くした方が効率がよい。
- (3) 溶射膜の硬さは、溶射距離、溶射電流にほとんど影響されない。
- (4) 溶射膜の断面組織は、溶射距離が長くなるほど溶射層は粗くなり、気孔や介在物が多くみられる。従って、溶射距離をあまり大きくすると溶射皮膜の緻密性が損なわれる。
- (5) 溶射皮膜の表面粗さは、溶射距離、溶射電流にほとんど影響されない。
- (6) マスターモデルであるエポキシ樹脂と溶射層との離型材の配合比は、水ガラス50%が適正である。
- (7) マスターモデルの温度上昇は、電流値一定で間断溶射を適正に行えば溶射距離にはあまり影響されない。
- (8) 溶射金型の作製においては、溶射電流70A、溶射距離400mmで1層毎に適正な冷却を行えば容易に型作製が可能である。また、溶射皮膜の収縮による端部の剥離防止には、周辺部に巻き込みを持たせた溶射が効果的である。

#### 参考文献

- 1) 関元治、石川量大、日本機械学会誌、Vol82、1979
- 2) 石川量大：「溶射の種類と施工法」、沖縄県工業試験場講習会資料、1992
- 3) 日本溶射協会編：「溶射ハンドブック」、新技術開発センター
- 4) 比嘉眞嗣、國吉和男、沖縄県工業試験場業務報告、Vol18、1990
- 5) 産業工具辞典編集委員会編：「産業工具辞典」、産業調査会
- 6) 高橋正一：「金型CAD/CAMシステム」、工業調査会
- 7) 原信彦、野地英治、筒本隆博、広島県立西部工業技術センター研究報告、Vol32、1989
- 8) 原信彦、野地英治、刈山信行、畑徳宣、村田正治、藤本良男、荒本秋夫、出張宣明、東山功、河野秀敏、木山尚志、佐々木薫、広島県立西部工業技術センター研究報告、Vol33、1990
- 9) 原信彦、野地英治、畑徳宣、広島県立西部工業技術センター研究報告、Vol34、1991



編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。