

学位論文題名

# A basic study on manufacturing metal restoration by selective electroplating

(部分メッキによる金属歯冠修復物作製法の基礎的検討)

## 学位論文内容の要旨

【目的】この研究の目的は、部分メッキ法による金属歯冠修復物作製の可能性を評価することであり、そのために金属板上のあらかじめ設定された位置に金属メッキを行い、そのメッキ層にある程度の厚みを持たせることを目標とした。

### 【材料と方法】

予備実験 まず通常のニッケルメッキを用い、ある一定時間内にどの程度の厚みのメッキ層が得られるかを調べた。メッキ液にはワット浴を用い、カソードには厚さ0.5 mmで1×1 cmの銅板、アノードにはニッケル板を用い、pH2.3、液温50℃でガルバノスタットで電流値を40 mAに調整した。メッキ時間は5、10、15時間とし、各時間ごとに3個ずつの試料を作成しニッケルメッキを行った。メッキ終了後メッキ厚さを測定するため試料を切断し、その断面から光学顕微鏡によってメッキ厚さ測定した。

本実験 ニッケルによる部分メッキが可能か否か、また可能であれば、そのメッキ層の厚さを増加させてある程度の厚みのメッキ層が得られるか否かを評価した。この実験のために、カソードの銅板上に細い円周状のニッケルメッキが得られるように、先端の径が100 $\mu$ mのガラスチップから噴出したメッキ液が、低速回転のモーターに取り付けられた厚さ0.5 mmで5×5 cm銅板のカソード上に常時接触するような、特別な装置を製作した。なお、本実験は3つの実験より構成されている。

実験1では、上記の装置を使用し、ワット浴を用いて、次の実験条件で実験を行った。まずコントロールとして、メッキ時間5時間、電流値500 $\mu$ A、回転速度1 rpm、回転半径12 mmにて部分メッキを行った。次にメッキ時間、電流値、回転速度、回転半径の、何れか一つの条件を種々に変化させてメッキを行い、そのメッキ厚さをコントロールと比較した。メッキ時間は5、10、20、電流値は300、500 $\mu$ A、回転速度は1、4 rpm、回転半径は10、12、14 mmと変化させ、各条件につき4個ずつの試料を作成した。

実験2では、回転する銅板のカソードの下半分を温湯に浸漬し、部分メッキ終了後のメッキ液を洗い流すと同時に銅板の露出した部分を乾燥させ、更に銅板に接触するメッキ液の温度を間接的に上昇させて実験を行った。実験2の条件は、メッキ時間は5、10、20時間電流値は650 $\mu$ A、回転速度は1 rpm、回転半径は12 mm、更に水温を70℃とした。各メッキ時間ごとに3個ずつの試料を作成した。また、さらにメッキ時間を50、60、100時間として長時間の部分メッキを行った。

実験3では部分メッキの自由度を追求する次のステップとして装置に改良を加え、モーターの回転軸上に4つの凸部を有するギヤをとりつけ、その凸部がマイクロスイッチのon-offを行うようにし、電流を断続して円周上に分割された部分メッキができるようにした。この装置を用いてメッキ条件を種々に変えて実験を行った。実験3の条件として、メッキ時間は5時間、電流値は500 $\mu$ A、回転速度は1 rpm、回転半径は12 mm、水温を70℃として3個の試料を作成した。

実験によって得られた全ての試料は、メッキ層の厚さを測定するため、表面粗さ計によってその4カ所のメッキ部分をランダムに測定し、その平均値をその試料のメッキ厚さとした。またメッキの状態をSEMによって観察した。

## 【結果と考察】

予備実験においては、メッキ時間5, 10, 15時間において、メッキ厚さはそれぞれ平均0.135, 0.210, 0.286mmであった。メッキ時間の増加とともにメッキ厚さが増加することが示された。

実験1においては円周状のニッケルの部分メッキが得られ、そのメッキ厚さは時間の増加とともに増大することが示されたが、その増加の程度は予備実験の結果と比べて小さかった。コントロールの条件において部分メッキを行ったところ、その平均メッキ厚さは4.28 $\mu\text{m}$ であった。メッキ時間を10, 20時間としたところ、その厚さはそれぞれ8.62, 18.81 $\mu\text{m}$ であった。電流値を300 $\mu\text{A}$ と変化させたところ、メッキ厚さは3.9 $\mu\text{m}$ であった。回転半径を10, 14mmと変化させると、メッキ厚さはそれぞれ3.81, 5.12 $\mu\text{m}$ であった。回転速度を4rpmとすると、メッキ厚さ5.63 $\mu\text{m}$ が得られた。これら種々条件を変化させたときのメッキ厚さとコントロールとを比較し、メッキ時間の場合のみ、統計的な有意差が認められた。コントロールの条件でメッキ時間5および135時間において、メッキ厚さは平均36.5 $\mu\text{m}$ と98.0 $\mu\text{m}$ であった。

実験2においては、メッキ時間の増加に伴ってさらにはっきりとしたメッキ厚さの増加が認められた。メッキ時間5, 10, 20時間において、メッキ厚さはそれぞれ平均8.65, 15.40, 42.33 $\mu\text{m}$ であった。長時間のメッキにおいては、メッキ時間50, 60, 100時間ではそれぞれ平均85.50, 99.25, 171.25 $\mu\text{m}$ であった。実験1と比べて、同じメッキ時間でほぼ2倍のメッキ厚さが得られた。得られたメッキ厚さは、メッキ時間100時間で最大約170 $\mu\text{m}$ であった。

このことはカソードに付着したメッキ液を洗浄し、露出した部分を短時間で乾燥させさせるために水温を約70 $^{\circ}\text{C}$ に保ったことにより、間接的にメッキ液の温度が上昇し、反応速度が上昇したためと考えられる。

実験3では、メッキ時間5時間においてメッキ厚さは7.62 $\mu\text{m}$ であった。この実験ではさらに選択的な部分メッキが得られたが、その厚みは実験2に比べて減少した。その原因としては、マイクロスイッチを接続したことにより電気抵抗が増加し、メッキの電流値が実験2に比較して低下したことが考えられる。しかし、実験1と比較するとメッキ厚さはメッキ時間5時間で実験2と同様、有意に増加した。

部分メッキのSEM観察によると、ニッケルのメッキ層は緻密な金属構造が観察され、この所見は予備実験のメッキ層のSEM像とほぼ一致していた。

今回得られたメッキ層の厚さは最大で100時間かかって約0.2mmであり、クラウンを作製するためには最低でも1mmの厚みが必要であるから、単純に考えてその5倍のメッキ時間すなわち約500時間を要する計算となる。今回はメッキ液を噴出させるガラスチップの直径を約100 $\mu\text{m}$ として実験を行ったが、それを作製する部位に応じて大きくすることによりメッキの電流値を大きくし、総合的にメッキ時間の短縮を計ることも可能であると考えられる。

## 【結論】

1. 特殊なメッキ装置を考案し、銅板をカソードとしてその上の、一定の円周上にある程度の厚みを持ったニッケルの部分メッキを行うことができた。
2. SEM観察によると、部分メッキ層の構造は予備実験のメッキ層の構造のSEM像とほぼ一致していた。これによって、部分メッキは通常メッキの物理的・機械的特性に近似していると考えられた。
3. 部分メッキの厚さは電流値を一定にするとメッキ時間の増加と共に増大した。
4. カソードを温めることによってメッキ液の温度が間接的に上昇し、単位時間のメッキ厚さは増加したが、今回の実験ではカソードを約70 $^{\circ}\text{C}$ に温め、電流値を650 $\mu\text{A}$ に保った場合に最も効率が良かった。
5. ニッケルの部分メッキをさらに自在に行うために装置に改良を加え、電流を断続することによって円周上に分割された部分メッキを行うことができた。
6. 今回の実験によって部分メッキの部位と厚さをかなり自由にコントロールできることが確認できた。従って、これらの方法を更に発展させることによって部分メッキで金属歯冠修復物を作製できる十分な可能性が得られたものと考えられる。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 内 山 洋 一  
副 査 教 授 下 河 邊 宏 功  
副 査 教 授 亘 理 文 夫

学 位 論 文 題 名

## A basic study on manufacturing metal restoration by selective electroplating

(部分メッキによる金属歯冠修復物作製法の基礎的検討)

本研究の目的は、部分メッキ法による金属歯冠修復物作製の可能性を評価することである。

### 【材料と方法】

まず予備実験としてニッケルメッキを用い、一定時間内に1×1 cmの銅板にどの程度の厚みのメッキ層が得られるかを調べ、時間とともにメッキ厚さが増加することを確認した。

その結果を得てカソードの銅板上に細い円周状のニッケルメッキが得られるように、先端の径が100 $\mu$ mのガラスチップから噴出したメッキ液が、低速回転のモーターに取り付けられた厚さ0.5mmで5×5 cm銅板のカソード上に常時接触するような、特別な装置を製作し、以下の3つの実験を行った。

実験1では、まずコントロールとして、メッキ時間5時間、電流値500 $\mu$ A、回転速度1rpm、回転半径12mmにて部分メッキを行い、次にメッキ時間を5、10、20時間、電流値を300、500 $\mu$ A、回転速度を1、4rpm、回転半径を10、12、14mmと変化させ、各条件につき4個ずつの試料を作成しそのメッキ厚さをコントロールと比較した。

実験2では、回転する銅板のカソードの下半分を温湯に浸漬し、部分メッキ終了後のメッキ液を洗い流すと同時に銅板の露出した部分を乾燥させ、更に銅板に接触するメッキ液の温度を間接的に上昇させて実験を行った。メッキ時間は5、10、20時間、電流値は650 $\mu$ A、回転速度は1rpm、回転半径は12mm、水温は70℃とし、各メッキ時間ごとに3個ずつの試料を作成した。また、さらにメッキ時間を50、60、100時間として長時間の部分メッキを行った。

実験3では部分メッキの自由度を追求するため、装置に改良を加え、モーターの回転軸上に4つの凸部を有するギヤをとりつけ、その凸部がマイクロスイッチのを介して、電流を断続して円周上に分割された部分メッキができるようにした。この装置を用いて、メッキ時間は5時間、電流値は500 $\mu$ A、回転速度は1rpm、回転半径は12mm、水温を70℃として3個の試料を作成した。

実験によって得られた全ての試料は、メッキ層の厚さを測定するため、表面粗さ計によってその4

カ所のメッキ部分をランダムに測定し、その平均値をその試料のメッキ厚さとした。またメッキの状態をSEMによって観察した。

#### 【結果と考察】

実験1においては円周状のニッケルの部分メッキが得られ、そのメッキ厚さは時間の増加とともに増大することが示されたが、その増加の程度は予備実験の結果と比べて小さかった。種々条件を変化させたときのメッキ厚さをコントロールとを比較した結果、メッキ時間についてのみ、統計的な有意差が認められた。コントロールの条件でメッキ時間55および135時間において、メッキ厚さは平均36.5 $\mu\text{m}$ と98.0 $\mu\text{m}$ であった。

実験2においては、メッキ時間の増加に伴ってさらにはっきりとしたメッキ厚さの増加が認められ、長時間のメッキにおいては、メッキ時間50、60、100時間ではそれぞれ平均85.50、99.25、171.25 $\mu\text{m}$ であり、実験1と比べて、同じメッキ時間でほぼ2倍のメッキ厚さが得られ、100時間で最大約170 $\mu\text{m}$ に達した。

このことは、カソードを浸漬する温湯の温度を約70 $^{\circ}\text{C}$ に保ったことにより、間接的にメッキ液の温度が上昇し、反応速度が上昇したためと考えらる。

実験3では、選択的な部分メッキが得られたが、その厚みは実験2に比べて減少した。その原因としては、マイクロスイッチを接続したことにより電気抵抗が増加し、メッキの電流値が実験2に比較して低下したことが考えられる。しかし、実験1と比較するとメッキ厚さはメッキ時間5時間で7.62 $\mu\text{m}$ となり実験2と同様、有意に増加した。

部分メッキのSEM観察によると、ニッケルのメッキ層は緻密な金属構造が観察され、この所見は予備実験のメッキ層のSEM像とほぼ一致していた。

以上の研究により次の結論を得ている

1. 特殊なメッキ装置を考案し、銅板をカソードとしてその上の、一定の円周上にある程度の厚みを持ったニッケルの部分メッキを行うことができた。
2. 部分メッキの厚さは電流値を一定にするとメッキ時間の増加と共に増大した。
3. ニッケルの部分メッキをさらに自在に行うために装置に改良を加え、電流を断続することによって円周上に分割された部分メッキを行うことができた。
4. 今回の実験によって部分メッキの部位と厚さをかなり自由にコントロールできることが確認できた。従って、これらの方法を更に発展させることによって部分メッキで金属歯冠修復物を作製できる十分な可能性が得られたものと考えられる。

上記の研究内容について主査、副査が一堂に会し、口頭により試問と審査を行った。実験装置やメッキの方法について質問を試みたがいずれも適切にして十分な返答が得られ本研究が十分な準備の上で行われたものであり、三次元データを用いてメッキによって立体的な構造物を作製する可能性を得たことは新発見であり、博士(歯学)の学位授与に値することを審査員一同が認めた。