原 著 論 文

ワイヤークラスプの製作における鑲付法の評価

—固定法と鑲付法について—

池邊 一典 野首 孝祠 吉備 政仁 安井 栄
小野 高裕 奥野 善彦 多賀 義晃*

Evaluation of Soldering Procedure in Fabrication of Wrought Wire Clasp —Differences in Temporary Attachment and Soldering—

Kazunori Ikebe, Takashi Nokubi, Masahito Kibi, Sakae Yasui,
Takahiro Ono, Yoshihiko Okuno and Yoshiaki Taga*

Abstract : Most wrought wire clasps are attached to the framework of removable partial dentures by soldering. The purpose of this study is to investigate the influence of soldering procedures on deformation and mechanical properties of clasp arms and strength of jointing parts.

In this study, circular clasp arms were made from Co-Cr alloy wires and soldered to supporting parts with a silver solder. Two kinds of temporary attachments, investing and spot welding, and two kinds of soldering methods, torch and electric resistance soldering were applied. These temporary attachment and soldering methods were combined, then four different procedures were compared.

The results were follows.

1. The change of distance between clasp tips during soldering procedure was smaller for temporary attachment by investing than spot welding, and for electric soldering than torch soldering.
2. By any soldering procedure, load required for 0.1 mm deflection of clasp arms increased significantly and permanent deformation after 0.5 mm deflection of them decreased considerably.
3. In both tensile strength and fatigue profile of jointing part, combination of spot welding and electric soldering was the best of all procedures.

These results indicated that without the deformation of clasp arms, combination of spot welding and electric resistance soldering was the most effective procedure in wrought wire clasp construction.

大阪大学歯学部歯科補綴学第二講座

*大阪大学歯学部附属病院総合技工室

The Second Department of Prosthetic Dentistry, Osaka University Faculty of Dentistry (Chief: Prof. Yoshihiko Okuno)

*Dental Technician Laboratory, Hospital attached to Osaka University Faculty of Dentistry

平成4年4月1日受付

Key words : spot welding, electric resistance soldering, mechanical property of clasp arm, tensile strength, fatigue profile

I. 緒 言

ワイヤークラスプは、線材がもつ加工材特有の弾性に優れ、かつ破損しにくいという性質を利用して、部分床義歯の維持装置（支台装置）に広く用いられている¹⁾。

ワイヤークラスプの製作にあたっては、線材を屈曲したのち、レストや連結装置など義歯の構成要素と鋲付することが多い²⁾。また、その鉤腕に使用する線材には冷間加工によって大きな内部ひずみが残留し、加熱によって回復、再結晶などが生じ、物理的性質に変化をきたしやすいとされている³⁻⁷⁾。

この点に関して池邊⁸⁾は、臨床的に広く用いられているクラスプ用コバルトクロム合金線を鉤腕形態に屈曲し、加熱温度や鋲付操作が鉤腕の力学的性質や維持力に及ぼす影響について詳細に検討を行い、適切な鋲付法と熱処理を行うことによってワイヤークラスプの機能が向上することを報告している。

従来、鋲付操作の方法としては、鉤腕とレストを埋没固定し、火炎鋲付する方法がとられてきた。最近、中村ら⁹⁾、Nokubi ら¹⁰⁾は、鉤腕とレストの接合方法として、従来の埋没固定—火炎鋲付法に対して、操作が簡便でしかも仮着状態で鉤腕の適合性の確認が可能である電気溶接—電気抵抗鋲付法を紹介している。

そこで本研究においては、固定法として埋没法と電気溶接法、また鋲付法として火炎鋲付法と電気抵抗鋲付法を比較する目的で、これらの条件を組合せた各種鋲付法による鉤腕の変形や特性、また鋲付強度や耐久性、さらに金属組織像について比較検討を行った。

II. 実験方法ならびに結果

1. 鋲付による鉤腕の変形

1) 実験材料ならびに方法

試料の形態を図 1 に示す。鉤腕材料には、断面が円形でその直径（以下、鉤腕の太さとする）が、0.7 mm と 1.0 mm の 2 種類のクラスプ用コバルトクロム合金線（三金社製、サンコバルトクラスプ線、組成：Co 46%, Cr 20%, Ni 22%, Mo 3%, W 4%, その他 5%）を使用した。次にそれぞれの太さの合金線を

図 1 試料の形態（鉤腕の変形と曲げ特性実験用）

表 1 実験条件

固定方法	・埋没固定法（埋没法）
	・電気溶接法（溶接法）
鋲付方法	・火炎鋲付法（火炎法）
	・電気抵抗鋲付法（電気法）

円弧の内側の曲率半径が 7 mm となるように、金属製の円柱に巻きつけ、鉤尖間距離が 7 mm となる円弧型鉤腕を製作した。

鉤腕を鋲付する被鋲付部は、鑄造用コバルトクロム合金（松風社製、スマロイコバルト）を使用し、レスト、鉤体、鉤脚部を想定して、長さ 17 mm、幅 3.5 mm、厚さ 1 mm の板状の鑄造体（以下、支持部とする）を製作した。

鉤腕と支持部の鋲付前の固定法については、埋没固定法（以下、埋没法とする）と電気溶接法（以下、溶接法とする）の 2 種類とした（表 1）。埋没法とは、鉤腕と支持部をスティッキーワックスにて仮着し、鋲付用埋没材（ジーシー社製、鋲着用埋没材）を用いて一定の大きさの埋没材（直径 20 mm、厚さ 5 mm の円板状）で固定する方法である。なお、埋没法では、埋没材硬化後、仮着用ワックスを熱湯で完全に除去し、電気炉中で 200°C、20 分間の予備加熱を行ったのち鋲付を行った。一方、溶接法とは、電気抵抗溶接機（ジーシー社製、WELDER HW-I）を用いて、鉤腕と支持部とをスポット溶接する方法である^{9,10)}。

一方鋲付は、合金線に対してメーカー指定の銀鐵（三金社製、サンプラチナソルダー：融点 730°C）とフラックス（三金社製、オーラルフラックス）を使用

図 2 鉤尖間距離の変化量 ($l'-l$)

図 4 曲げ試験の方法

図 3 鉤尖間距離の変化量

I-T: 埋没-火炎法, I-E: 埋没-電気法,
W-T: 溶接-火炎法, W-E: 溶接-電気法

した。鐵付法は、ブローパイプのガス炎の還元帯によって加熱する火炎鐵付法（以下、火炎法とする）と、電気抵抗溶接鐵付機を利用し、鐵付母材に大量の電流を流した際に電気抵抗によって生じるジュール熱による電気抵抗鐵付法（以下、電気法とする）との2種類とした（表1）。

以上のように、それぞれ2種類の固定法と鐵付法を組合せて、埋没-火炎法、溶接-火炎法、埋没-電気法、溶接-電気法の4種類の方法による各試料を2種類の太さの鉤腕につきそれぞれ5個ずつ製作した。

製作した各試料に対して、図2に示すように屈曲した時点 (l) と鐵付後 (l') の鉤腕の鉤尖間距離を万能投影機（ニコン社製、V-12）にて測定し、試料製作前後の鉤尖間距離の変化量 ($l'-l$) を算出した。各条件間の平均値の差の検定には、Student の t 検定を用いた。

2) 実験結果

各試料とも鐵付操作を行うことによって鉤腕の鉤尖間距離は増加し、その間の変化量を以下変形量とする（図3）。

まず固定法では、鐵付法が同じ場合、溶接法に比べ

て埋没法における変形量は有意に小さな値 ($p < 0.01$) を示した。すなわち、太さ 0.7 mm の場合、埋没-火炎法は溶接-火炎法の 56%、埋没-電気法は溶接-電気法の 16% を示し、太さ 1.0 mm の場合、埋没-火炎法は溶接-火炎法の 74%、埋没-電気法は溶接-電気法の 28% を示した。特に、火炎鐵付法よりも電気鐵付法において、埋没法と溶接法による変形量に大きな差が認められた。

一方、鐵付法については、固定法が同じ場合、火炎鐵付法に比べて電気鐵付法における変形量は有意に小さな値 ($p < 0.01$) を示した。すなわち、太さ 0.7 mm の場合、埋没-電気法は埋没-火炎法の 21%、溶接-電気法は溶接-火炎法の 56% を示し、また太さ 1.0 mm の場合、埋没-電気法は埋没-火炎法の 22% を示し、溶接-電気法は溶接-火炎法の 77% を示した。

2. 鐵付による鉤腕の曲げ特性の変化

1) 実験材料ならびに方法

実験1で製作したものと同様の試料を万能材料試験機（島津製作所社製、オートグラフ S-500）に固定し、図4に示したように、鉤腕基部より鉤腕中央部相当の 8 mm および鉤尖部相当の 16 mm の位置の鉤腕内面に対して法線方向に荷重を加えて曲げ試験を行った。曲げ試験の際のクロスヘッドスピードは 1 mm/min とし、従来ワイヤークラスプのアンダーカット量に利用可能とされてきた、0.5 mm たわませたのち直ちに荷重を除いた。

荷重ならびにたわみのデータは、それぞれ荷重変換器と変位変換器（日本電気三栄社製、荷重変換器：9 E 01-L 5、変位変換器：9 E 08-D 1）から取り込み、それぞれ動ひずみアンプ（日本電気三栄社製、6 M 92）にて増幅し、A/D コンバータ（カノーブス電子社製、ADX-98 E）にて A/D 変換を行ったのち、パーソナルコンピュータ（日本電気社製、PC-98 E）

図5 鉤腕を1.0mmたわませるのに必要な荷重 ($P_{0.1}$)

A: 鉤腕の太さ0.7mm, B: 鉤腕の太さ1.0mm

control: 鉤付を行わなかった場合,

I-T: 埋没-火炎法, I-E: 埋没-電気法,

W-T: 溶接-火炎法, W-E: 溶接-電気法

図6 曲げ試験後の鉤腕の永久変形量

A: 鉤腕の太さ0.7mm, B: 鉤腕の太さ1.0mm

control: 鉤付を行わなかった場合,

I-T: 埋没-火炎法, I-E: 埋没-電気法,

W-T: 溶接-火炎法, W-E: 溶接-電気法

に入力して分析を行った。

得られた荷重-たわみ曲線より、0.1mm たわませるのに必要な荷重 (以下、 $P_{0.1}$ とすると)、0.5mm たわませたのちに生じる法線方向の永久変形量をそれぞれ求め、各条件の試料の比較検討を行った。各条件間の平均値の差の検定には、Student の t 検定を用いた。

2) 実験結果

$P_{0.1}$ (図5) は、鉤付を行っていない場合と比較して、鉤付を行った鉤腕では、4種類の寸法条件すべてにおいて、1.2~1.6倍と有意に大きな値を示した。

また、 $P_{0.1}$ は、固定法が同一の場合、すべての寸法条件の鉤腕において電気鉤付法より火炎鉤付法の方がわずかに大きくなる傾向を示したが、固定法 (埋没法と溶接法) については、各鉤付法における $P_{0.1}$ にほとんど差が認められなかった。

一方、鉤腕を法線方向に0.5mm たわませたのちに生じる永久変形量 (図6) は、鉤付を行っていない鉤腕と比較して、鉤付を行った鉤腕では、4種類のすべての寸法条件において、10~50% ときわめて小さな値を示し、いずれの固定法ならびに鉤付法においても良好な性質が認められた。

特に、固定法が同一の場合、電気鉤付法より火炎鉤付法の永久変形量の方が小さくなる傾向が認められた。しかし、固定法の違いには一定の傾向がみられなかった。

3. 鉤付部の強度

1) 実験材料ならびに方法

試料は図7に示すように、太さ1.0mm、長さ22mmの直線状のコバルトクロム合金線と、実験1の支持部と同様のコバルトクロム鋳造体とを鉤付して製作

図7 試料の形態（鍍付部の強度と金属組織観察用）

図8 くり返し曲げ試験の方法

した。鍍付部は重ね継ぎ手とし、ワイヤー部分と支持部の長軸を一致させ、鍍付部が幅1.0 mm、長さ2.0 mmとなるように設定し、鍍付終了後余剰の鍍は削除した。

(1) 引張り試験

各試料の鍍付部がチャック間距離の10 mmの中央に位置するように万能材料試験機（インストロン社製、TT-1113）に固定した。次いで、クロスヘッドを試料の長軸方向に1 mm/minで移動させて引張り試験を行い、鍍付部が破壊されたときの荷重を記録した。試験後、鍍付面積を万能投影機を用いて求め、鍍付部が破壊したときの荷重を鍍付面積で除し、単位面積（1 mm²）あたりの引張り強度を比較した。

(2) くり返し曲げ試験

次に、図8のように各試料を支持部をくり返し曲げ試験機に固定し、鍍付部より5 mm離れたワイヤー部分に、試料の長軸に対して垂直な方向に、0.5 mmの変位を2回/secの頻度でくり返し与え、鍍付部が破壊するまでの曲げ回数を記録した。なお、予備実験において、鍍付部の破壊が生じない試料が現れたため、鍍付部の疲労破壊の時期を可及的に早期に確認し、しかもその荷重量そのものが疲労試験の結果に大きな影響を及ぼさないために、鍍付部より20 mm離れた先端部分に荷重方向と逆方向に30 gfの一定の負荷を与

図9 鍍付部の引張り強度

I-T：埋没-火炎法，I-E：埋没-電気法，
W-T：溶接-火炎法，W-E：溶接-電気法

図10 鍍付部の破壊に至るまでの曲げ回数

I-T：埋没-火炎法，I-E：埋没-電気法，
W-T：溶接-火炎法，W-E：溶接-電気法

えた。各条件間の平均値の差の検定には、Studentのt検定を用いた。

2) 実験結果

(1) 引張り試験

引張り試験の結果、いずれの試料も鍍内部で凝集破壊を起こした。

引張り強度（図9）は、火炎鍍付法に比べて電気鍍付法が大きく、また固定法については、溶接法の方が大きくなる傾向を示した。特に溶接-電気法において最大の引張り強度を示し、他の条件との間で有意の差（ $p < 0.05$ ）が認められた。

(2) くり返し曲げ試験

各鍍付条件による鍍付部の破壊に至るまでの曲げ回数、すなわちくり返し荷重に対する耐久性（図10）

図 11 鑢付部の金属組織像

I-T: 埋没一火炎法, I-E: 埋没一電気法,
W-T: 溶接一火炎法, W-E: 溶接一電気法,
S: 鑢, A: 鉤腕 (コバルトクロム合金線),
R: 支持部 (コバルトクロム鑢造体)

は、各条件間で著しい差がみられ、溶接一電気法が最も優れ、曲げ回数 13,000~29,000 回で破壊した。以下、溶接一火炎法で 8,400~21,000 回、埋没一火炎法で 2,000~4,000 回、埋没一電気法で 1,500 回~2,500 回となった。

すなわちくり返し曲げ試験に対する鑢付部の耐久性は、固定法による差が著しく、埋没法に比べて溶接法の方がきわめて優れており、その中でも溶接一電気法が、最も良好な結果を示した。

4. 鑢付部の金属組織像

1) 実験材料ならびに方法

実験 3 と同一形態の試料をアクリリクレジンにて包埋し、鑢付部をワイヤーの長軸に垂直な方向に切断し、横断面を製作したのち、耐水研磨紙の 1500 番ま

で研磨し、さらに酸化アルミナを用いてバフ研磨を行った。これらの試料に対して、硝酸 2 : 塩酸 3 : 酢酸 1 : グリセリン 1 からなる腐食液¹¹⁾にて 5 分間酸処理したのち、金属顕微鏡 (ニコン社製、オブチフォト XPF) にて観察を行った。

2) 実験結果

図 11 に各条件による鑢付部の金属組織像の一例を示す。

まず、埋没一火炎法 (図 11, I-T) による鑢組織 (図中の S) は、4 条件の中で樹枝状結晶の成長が最も著明に観察された。また、組織像の不均一性や鑢付欠陥が数例にみられた。

埋没一電気法 (図 11, I-E) による鑢組織は、埋没一火炎法と比較して未発達な樹枝状結晶と細かい結晶が混在した像を示す。また、ほとんどの試料において

大きな巣や空泡などの鑲付欠陥が認められた。

溶接—火炎法（図 11, W-T）による鑲組織は、埋没—火炎法と比較して未発達な樹枝状結晶がみられるが、その結晶の成長の程度にばらつきがあった。また、空泡などの欠陥も観察されたが、そのほとんどは小さなものであった。

溶接—電気法（図 11, W-E）による鑲組織は、凝固初期に晶出した結晶が均一に細かく存在し、各条件の中でも最も均一で緻密な組織像を示した。また、空泡などの金属欠陥がほとんど認められなかった。

すなわち、鑲付部の強度が最も大きかった溶接—電気法が、鑲付部の金属組織においても、最も緻密で欠陥の少ない像を呈した。

III. 考 察

1. 鑲付方法について

本研究においてワイヤークラスプの鉤腕材料に使用したコバルトクロム合金線は、強度や耐摩耗性に優れ、弾性係数が金合金の約 2 倍と大きく、ステンレス鋼線やニッケルクロム合金線など他の卑金属線材に比べて、加熱による劣化が起こりにくいとされ^{3,12)}、臨床的に広く用いられている。

一方、レスト・鉤体・鉤脚部（支持部）は、ワイヤークラスプの場合、鉤腕そのものに支持機能が期待できないため強固な構造が必要となる。したがって、本研究においては、部分床義歯の支台装置に用いる金属の中でも剛性が高く、金属床用材料として広く用いられているコバルトクロム鑄造体とした。

鑲の材料に関しては、被鑲付体と組成が類似することが理想的であるが、コバルトクロム合金の鑲付については、コバルト系合金に類似した組成の鑲は、融点が高く、鑲を融解するための加熱によって鉤腕を脆化や酸化させる恐れがあるため適切な鑲とはいえない³⁾。それに対して、銀鑲は融点が低く、ヌレ性や、流れがよく、加熱による鉤腕への影響が比較的小さいという利点があり^{13,14)}、特にコバルトクロム合金線の鑲付には、臨床的にも銀鑲が広く用いられている。そこで、本研究においても、コバルトクロム合金線に対する鑲材として銀鑲を用いた。

鉤腕と支持部との接合に用いた鑲付法は、操作が簡便かつ確実であり、強固な接合が可能で、異種金属の接合も容易に行えることなどから、臨床的にも広く用いられている方法である。

まず、鉤腕とレストの固定には、現在埋没固定法と電気溶接固定法が主に行われており、本研究においてもこの両者を採用し、比較検討を行った。埋没固定法は、鉤腕とレストをレジンやワックス等で仮着したのち、硬化膨張の小さい鑲付用埋没材を用いて鑲付母材を固定する方法で、今日まで広く用いられてきた。一方、電気溶接固定法は、鉤腕とレストを作業模型上で直接スポット溶接して固定する方法であり、鉤腕の鉤歯への適合性の確認が可能で、また埋没操作が不要であり、作業時間の短縮も図れるという利点がある¹⁵⁾。

次に、現在一般的に行われている鑲付法には、火炎鑲付法、炉内鑲付法、電気抵抗鑲付法、高周波鑲付法、赤外線鑲付法などがあげられ¹⁶⁻¹⁸⁾、歯科補綴領域では、ブローチを用いた火炎鑲付法が最も多く利用されている。火炎鑲付法は、特別な器具や操作を必要とせず、簡便で優れた方法といえる。しかし、加熱温度のコントロールが困難であり、また鑲付操作自体が不安定で熟練を要し、鑲付強度のばらつきが大きいとされている。それに対して電気抵抗鑲付法は、比較的溫度コントロールが容易で、術者によって鑲付の良否に差が少なく、安定した鑲付法であると報告されている¹⁹⁾。

しかし、ワイヤークラスプの鑲付の際の変形や鉤腕の力学的性質、また鑲付強度に対して、固定法や鑲付法によってどのような違いがあるかは明らかにされていない。

そこで本研究においては、従来の方法として埋没固定法と火炎鑲付法とを、さらに著者らが臨床で行っている電気溶接法と電気抵抗鑲付法とをそれぞれ用いて比較検討を行い、最も合理的な鑲付操作を確立することを目的として実験を行った。

2. 実験項目ならびに結果について

1) 鉤腕の変形について

ワイヤークラスプが、口腔内で適切な機能を発揮するためには、支台歯（鉤歯）に対して良好な適合性を示し、また維持、支持、把持などの機能が十分であり、鉤腕とその支持部の接合が強固でかつ長期的にも安定していることが要求される^{20,21)}。

そこで本研究においては、まずワイヤークラスプの製作過程のうち鑲付法が鉤腕の適合性や力学的性質に及ぼす影響について検討を行った。

クラスプの製作過程における鉤腕の変形は、その適合性ひいては維持や把持などの機能に大きく影響を及

ばすものと考えられる^{22,23)}。そこで、鉤尖間距離を指標として鑢付操作によって生じる鉤腕の変形について検討を加えた。

本研究の結果、鉤腕の変形は、溶接法に比べて埋没法による固定の方が、また火炎法に比べて電気法による鑢付の方が有意に小さな値を示した。

その理由としては、まず溶接法による固定の場合、鉤腕は鑢付部が一点のみで固定されているだけであり、自由に変形可能な状態にあるのに対して、埋没法による固定では鉤腕の動きを拘束することによって、鉤腕の変形を抑制する効果がみられたことが考えられる。

次に、鑢付法による変形量の差の原因については、加熱温度やその方法の違いが考えられる。池邊⁸⁾は、ワイヤークラスプの鉤腕の変形量が、温度上昇に伴って増加すると報告した。本研究において、溶接法で固定した場合、鉤腕の変形は火炎法に比べて電気法の方が、有意に小さくなったことは、鑢付時に火炎法の方が鉤腕をより高く加熱したことに起因しているものと考えられる。

さらに、火炎法と比べて、電気法の方が固定法の違いによって変形量に著しい差が認められた。

これは、火炎鑢付法の場合、火炎を用いて鑢材とともに鉤腕と支持部を直接加熱するため、伝導熱によって鉤腕全体に加熱の影響が及ぶ。そこで、拘束のない溶接-火炎法において最も大きな変形を示し、また埋没法においても、火炎によって埋没法材のブロック全体が加熱されて、大きな変形量を示したものと考えられる。

一方、電気抵抗鑢付法は、鉤腕自体を直接加熱することなく、ジュール熱により支持部付近の温度を上昇させ、その熱伝導によって支持部に接した鑢を融解する。次いで、鑢付部のワイヤーが一定の温度に達したとき、融解した鑢がワイヤーと支持部の間に流れ込み、鑢付部のワイヤーに対しては、必要最小限の加熱で鑢付操作が終了する方法である。その中で、溶接法の場合は、鉤腕と支持部が接触し、鑢付部の加熱による熱伝導が鉤腕全体に及ぶのに対して、埋没法では、鉤腕のほとんどが鑢付部を除いて埋没法材に覆われ、その埋没法材による断熱効果が大きく、その結果鉤腕の変形量が著しく小さく現れたものと考えられる。

鉤腕の太さに関しては、いずれの条件においても細い鉤腕の方が太い鉤腕より鑢付操作による変形が大きく、また細い鉤腕の方が固定法の違いによる変形量に

大きな差がみられた。これは、細い鉤腕の方が曲げ応力が小さく、等しい熱量を与えた場合、大きな変形を示し、しかも鉤腕を埋没固定することによって変形がより小さくなったものと考えられる。

2) 鉤腕の力学的性質について

次に、クラスプの機能に直接影響を及ぼす鉤腕の力学的性質について検討を加えた。

本研究においては、鉤腕を片持ち曲りはりと想定して曲げ試験を行い、鑢付操作の際の固定法や鑢付法が、鉤腕を弾性限度内で一定量、すなわち 0.1 mm たわませたときの荷重 ($P_{0.1}$) と、弾性限度を超えて 0.5 mm の一定のたわみを与えたのちに生じる永久変形量に及ぼす影響について検討を加えた。

一定のたわみに対する荷重は、鉤腕の剛性を検討する上でより实际的であり、臨床的にも重要な力学的性質であるとされている。また、鉤腕をたわませたのちに生じる永久変形量は、鉤腕に弾性限度を超えた負荷が加わった場合の鉤腕の変形挙動を表し、いずれも鉤腕の力学的性質を示す重要なパラメータといえる^{8,24-26)}。

本研究の結果、鑢付を行う前と比較して、鑢付を行った場合には、いずれの鑢付条件においても $P_{0.1}$ は増加し、永久変形量は減少した。

加熱による線材の弾性の変化について、Phillips⁹⁾は、線材の弾性は 370~480°C で加熱することによって向上し、その原因は相変化によるものではなく、残留応力の解放によるものであるとした。また、池邊⁸⁾は、線材を屈曲して製作した円弧型鉤腕の力学的性質は、加熱による内部ひずみの解放や時効硬化によって向上し、再結晶温度以上の加熱によって、逆に低下すると報告している。

本研究による鉤腕の力学的性質の変化も、これら内部ひずみの解放や時効硬化によるものと考えられる。また、電気法に比べて火炎法の方が $P_{0.1}$ はやや大きくなり、永久変形量はやや小さくなった。これは鑢付による鉤腕の変形量からも推察されるように、電気法より火炎法の方が鉤腕がやや高い温度で加熱されたことによるものと考えられる。

また、太さ 1.0 mm、長さ 16 mm の鉤腕では $P_{0.1}$ の増加は、他の条件と比較して小さくなったことより、太く長い鉤腕では加熱の影響が鉤尖部まで及びにくいことが推察される。この点に関して、池邊⁸⁾は、埋没-電気法を用いて鑢付を行ったのちの鉤腕に対して、500°C、3 分間の熱処理を行うことによって、さ

らに鉤腕の力学的性質の向上がみられたことから、鑢付による加熱の影響が鉤腕全体に及んでいないものと考察している。

3) 鑢付部の強度について

次に、各条件による鑢付部の引張り強度とくり返し曲げ荷重に対する耐久性について検討を行った。

野口²⁷⁾は、鑢付を行うにあたって考慮すべき項目として、流鑢性、鑢付精度、鑢付強度、耐食性、耐久性をあげている。本研究においては、このうちの引張りに対する鑢付強度とくり返し曲げ荷重に対する耐久性について鑢付部の金属組織所見とともに検討を行った。

その結果、引張り試験による鑢付部の強度は溶接一電気法が他の条件と比較して有意に大きな値を示し、くり返し曲げ試験に関しても、埋没法と比較して溶接法の方が耐久性に優れることが示された。

野口²⁷⁾は、鑢付強度に影響する因子として、鑢材自体の強度、鑢付母材の強度、鑢付母材への拡散、鑢付時の加熱条件、鑢付後の冷却条件をあげている。このうち、本研究でとりあげた固定法と鑢付法における違いは、主に鑢付時の加熱と鑢付後の冷却に影響を及ぼすものと考えられる。

この両者に関して、鑢付の際の加熱温度は高いほど流鑢性は良くなるものの、逆に高すぎれば鑢付母材表面の酸化物が多くなり、流鑢性は低下するとともに、空泡などの金属欠陥も増加する。また、鑢付後の冷却については、鑢が凝固する過程において鑢内での温度勾配が小さければ、均一で緻密な初晶が密度高く存在し、粘り強い組織となるが、逆に温度勾配が大きい場合、鑢は低温側より樹枝状組織を成長させながら凝固し、不均一で脆弱な組織となるとされている²⁸⁾。

本研究の組織像より、溶接一電気法は各条件の中で最も均一で緻密な組織像が得られ、鑢付欠陥も最も少なかった。この理由として、まず溶接により支持部と鉤腕が接触していることにより鉤腕への熱伝導がすみやかに行われ、さらに電気法を用いることによって、鑢付が短時間に完了し、過加熱による鑢付母材の酸化や鑢付欠陥が減少したことが考えられる。さらに、埋没していないことにより、凝固時に鑢がすみやかに冷却され、結晶も均一で緻密な組織となった。その結果、引張り試験による鑢付強度とくり返し曲げ荷重に対する耐久性に対して、ともに最も良好な結果が得られたものと考察される。

これに対して埋没法では、鑢付母材を断熱すること

により、鑢と母材の間に温度勾配が生じ、樹枝状結晶が発達して鑢自体が脆弱になり、耐久性に劣るようになったものと推察される。特に、埋没一電気法では、鉤腕に熱が伝わりにくく、鉤腕に鑢が流れる前に支持部と鑢が過加熱とされやすいと考えられ、鉤腕に対する加熱による影響は少ないものの、鑢自体に鑢付欠陥が多くなったものと考えられる。

以上のことから、鑢付の際の鉤腕の変形が比較的大きいことを除けば、溶接一電気法が鑢付部の強度や金属組織の点で最も良好で、合理的な鑢付方法であることが示された。

今後、鉤腕の変形量を減少させることを目的として、鉤腕の固定法や鑢付時の加熱法について検討を加えていく予定である。

IV. 総括ならびに結論

本研究は、コバルトクロム合金線を用いたワイヤークラスプの鑢付操作において、鉤腕とレストの固定法と鑢付法の違いが、鉤腕の変形や曲げ特性、また鑢付部の強度に及ぼす影響について検討を行ったものである。

その結果、以下の結論を得た。

1. 鑢付操作の際の鉤腕の変形は、鉤腕とレストの固定法については埋没法を、鑢付法については電気鑢付法を用いた場合が、鉤腕の変形を防止する方法として有効であった。

2. 鉤腕の曲げ特性については、鑢付を行わなかった場合と比較して、いずれの鑢付方法によっても、鉤腕を0.1 mm たわませた時の荷重は増加し、0.5 mm たわませたのちに生じる永久変形量は減少し、鉤腕の力学的性質の向上が認められた。

3. 鑢付部の強度に関しては、引張り試験とくり返し曲げ試験ともに電気溶接による固定と電気鑢付法を用いた場合が最も優れており、また顕微鏡所見においても最も均一で緻密な組織像を示し、かつ鑢付欠陥も最も少なかった。

以上の結果、ワイヤークラスプの製作において、埋没固定したのちに電気抵抗鑢付する方法が鉤腕の変形を防止する方法として優れ、また電気溶接による固定と電気鑢付法を用いた場合が、鑢付部の強度の点で最も良好であることが明らかとなった。したがって、実際の臨床において電気溶接一鑢付法を採用し、さらに鉤腕の変形を防止する工夫を行うことによって、より

合理的な鑲付方法を開発しうることが示された。

本研究の要旨の一部は、第 84 回日本補綴歯科学会学術大会 (平成 2 年 10 月, 吹田市) および第 33 回 JADR 総会 (平成 2 年 11 月, 仙台市) において発表した。

本研究は、平成 2 年度文部省科学研究費 (奨励研究 A, 課題番号 02857286) の補助によるものである。

文 献

- 1) 前田芳信, 石井和雄, 伊堂寺茂ほか: パーシャルデンチャー設計支援システムのためのデータベースの構築 第 1 報: 鉤歯ならびに維持装置の選択, 阪大歯学誌, 34: 385~391, 1989.
- 2) 藍 稔, 津留宏道, 根本一男ほか編, パーシャルデンチャーテクニック. 第 2 版, 87~92, 医歯薬出版, 東京, 1990.
- 3) 野口八九重: 歯科用コバルトクロム合金線の基礎的研究, 歯理工誌, 8: 147~182, 1967.
- 4) Craig, R.G.: Restorative dental materials. ed. 6, 126~129, C.V. Mosby, St. Louis, 1980.
- 5) Phillips, R.W.: Skinner's science of dental materials. ed. 8, 598~612, W.B. Saunders, Phila., 1982.
- 6) 若狭邦男, 山本昌雄: 金属材料の加工, 木村 博編, 歯科理工学, 218~224, クインテッセンス出版, 東京, 1985.
- 7) Stade, E.H., Stewart, G.P., Morris, H.F. et al: Influence of fabrication technique on wrought wire clasp flexibility, J Prosthet Dent, 54: 538~543, 1985.
- 8) 池邊一典: ワイヤークラスプの力学的研究—鉤腕形態と加熱操作が鉤腕の力学的性質ならびに維持力に及ぼす影響—, 阪大歯学誌, 36: 257~281, 1991.
- 9) 中村 栄, 野首孝祠, 小野高裕ほか: 電気溶接法と鑲付法を利用した部分床義歯における臨床例, 阪大歯学誌, 35: 609~617, 1990.
- 10) Nokubi, T., Nakamura, S., Ono, T. et al: Clinical application of electric resistance welding and soldering methods to removable partial dentures, J Osaka Univ Dent Sch, 30: 131~138, 1990.
- 11) 本間久夫, 川上道夫: 銀ろうおよびろう付部の組織, 神澤康夫監修, 歯科用金属材料組織写真集, 256~258, 永末書店, 京都, 1978.
- 12) 河邊清治: 線鉤 9 版, 33~37, 55~59, 日本歯科評論社, 東京, 1970.
- 13) 東 節男, 山賀禮一: 最新歯科材料学, 225~244, 学建書院, 東京, 1978.
- 14) 野口八九重: ろう材の種類と特性, 五十嵐孝義, 野口八九重, 湯田雅士ほか編, 現代のろう付テクニック, 345~354, クインテッセンス出版, 東京, 1989.
- 15) 湯田雅士: ろう付母材の固定, 五十嵐孝義, 野口八九重, 湯田雅士ほか編, 現代のろう付テクニック, 82~96, クインテッセンス出版, 東京, 1989.
- 16) 木村 博: 溶接・ろう着, 木村 博編, 歯科理工学, 260~277, クインテッセンス出版, 東京, 1990.
- 17) 湯田雅士: ろう付操作, 五十嵐孝義, 野口八九重, 湯田雅士ほか編, 現代のろう付テクニック, 97~120, クインテッセンス出版, 東京, 1989.
- 18) 萩原芳幸, 五十嵐孝義: ろう付機器の種類と特性, 五十嵐孝義, 野口八九重, 湯田雅士ほか編, 現代のろう付テクニック, 319~334, クインテッセンス出版, 東京, 1989.
- 19) 棕本精一: 矯正線ろう接部の理工学的考察, 歯科医学, 41: 803~823, 1978.
- 20) 野首孝祠: パーシャルデンチャーの設計, 阪大歯学誌, 36: 351~358, 1991.
- 21) 野首孝祠: パーシャルデンチャーにおけるクラスプ・システムの現状, パーシャルデンチャーの変貌, 29~50, クインテッセンス出版, 東京, 1991.
- 22) 野首孝祠: 鋳造鉤の製作過程における寸法変化とその適合性について, 補綴誌, 18: 363~381, 1975.
- 23) 山田隆司, 奥野善彦, 野首孝祠ほか: コバルト・クロム鋳造鉤の適合性に関する研究, 補綴誌, 21: 246~253, 1977.
- 24) Morris, H.F., Asgar, K. and Tillitson, E.: Stress-relaxation testing Part I: A new approach to the testing of removable partial denture alloys, wrought wires, and clasp behavior, J Prosthet Dent, 46: 133~141, 1981.
- 25) 小野高裕: キャストクラスプの維持力に及ぼす鉤歯形態の影響, 阪大歯学誌, 32: 229~250, 1987.
- 26) 野首孝祠, 小野高裕, 守光 隆ほか: キャストクラスプの維持力を求めるコンピュータ・システムの開発, 補綴誌, 32: 1141~1148, 1988.
- 27) 野口八九重: ろう付の原理, 五十嵐孝義, 野口八九重, 湯田雅士ほか編, 現代のろう付テクニック, 21~33, クインテッセンス出版, 東京, 1989.
- 28) 太田道雄: 金属の凝固, 神澤康夫監修, 歯科用金属材料組織写真集, 1~5, 永末書店, 京都, 1978.