加工用レーザの歯科補綴への応用

第1報 レーザ溶接の基礎的研究

南 里 嶽 仁

The Use of Laser Welding in Prosthodontics

The first report ; Basic Study on Laser

Welding of Dental Materials

Takehito Minamizato

1. はじめに

歯科補綴学の分野における金属接合法としてはろう付法特に硬ろう法がもっぱら採用されているが、近年レーザ光線による加工技術の進歩にともないレーザ溶接が可能となり、歯科補綴物への応用も試みられている。

すなわち Gordon¹⁾²⁾³⁾らは Nd ガスレーザを用い固定性架工義歯の溶接、アタッチメントを使用した局部床義歯の製作などを行ない、さらに6~20ヵ月の口腔内観察も行なっている。

著者は、レーザ溶接の歯科補綴への導入の可能性を知るため、その第一段階として歯科用金属のレーザ溶接を行ない、その引張強さ、硬さならびに金属組織についてろう付法と比較検討を行なつたので報告する。

2. 実験方法

本実験に用いた試料金属は18-8ステンレス鋼(sus 27)、ADA 規格 Type III, Type IV の金合金の3種である。

この3種の金属の加工板を図1に示す寸法と形に切り出した。図1(a)は母材の強度測定用、(b)は接合部の強度測定用の試料である。レーザ溶接およびろう付は同種金属同士の他に Type III, Type IV の金合金の接合も行ない、各々5本の試料について測定した。表1、表2はそれぞれレーザ溶接、ろう付の条件を示す。なお金合金に

ついてはろう付部の最大引張強さを得るためにろう付後硬化熱処理をほどこした。引張試験は島津製オートグラフを用い、室温でひずみ速度 $6.5 \times 10^{-2}/\text{sec}$ で行なつた。又硬さ測定には島津製微小硬度計を用い、荷重 300g、加荷重時間 15 秒で接合面に垂直方向に 100μ 間隔で測定した。

金属組織観察のための腐食液としては 18-8 ステンレス鋼には塩化第2鉄溶液 (FeCl_3 5g, HCl 50 cc, H_2O 100 cc)、金合金には KCN 10%, 苛硫酸アンモン 10% 溶液の混合液を用いた。

3. 結果および考察

(1) 引張強さについて

図2にそれぞれ(a) 18-8 ステンレス鋼、(b) Type III 金合金、(c) Type IV 金合金の引張強さ(破断強さ)を示す。ここでWはレーザ溶接、Mは母材、Sはろう付を意味し縦線の上端と下端は最大値と最小値を、黒丸は5本の試料の平均値を示す。

ステンレス鋼のレーザ溶接試料はすべて母材部で破断が起り溶接部からの破断は起らなかった。同様の結果が Miller⁴⁾らによつても得られている。そこで溶接部の断面積が最小となるような試料を作製し、再びレーザ溶接し引張試験を行なつた。その結果を図2(a)中の左端に示す。

図2(a)から明らかなようにステンレス鋼についてはレーザ溶接部は母材と同等かわずかに大きな破断強さを示し、ろう付部に比較してはるかに大きな接合強さを持つ。またろう付法に比較してレーザ溶接法では接合強さのパラッキが非常に小さいことがわかる。

Dept. of Prosthodontics, Kyushu Univ. School of Dentistry (Director: Prof. Tsuneo Suetsugu)

九州大学歯学部歯科補綴学第2講座

(指導: 末次恒夫教授)

昭和49年1月9日受付

一般にろう付部の破断強さは (i) ろう材自身の強さ、
(ii) ろう材と母材の接合強さのいずれかに支配される。
一方レーザ溶接部の場合は母材自身が融解凝固すること
によつて接合されるので主に試料金属の種類と、場合に

(a)

(b)

(mm)

表 1 YAG レーザの条件 (東芝製 LAY-508 B)

		imput V.	out put	deforcus
18-8 stainless	A	650 V.	17 j/pulse	+5 mm
	B	660 V.	13 j/pulse	+5 mm
Au—alloys		730 V.	15 j/pulse	+3~ +6 mm

pulse number = 10 pulse/sec.
pulse stroke = 0.4 mm (A = 0.5 mm)
both side radiation

表 2 ろう付法の条件

soloder { 18.8 stainless—Ag solder (三金)
 { Au—alloys—gold solder (G·C)
 butt space—180—200 μ
 G·C's investment
 room. temp. $\frac{\text{---}}{1 \text{ h.}}$ 150°C $\frac{\text{---}}{1 \text{ h.}}$ 550°C
• heat treatment for Au alloys
 450°C (20 m.)—slow cooling

図 2 各試料金属の引張試験

定されてしまうので、これらの材料に対してはレーザー溶接法は非常に有効な方法といえる。

一方合金のようなろう材と母材の組成および強度差の小さいものではその接合強さはレーザー溶接によっても大きく改善されることは期待できない。しかしながら接合強さのバラツキが小さいことは図2(b), (c)から明らかである。

ろう付法においてはその接合の良否は術者の技術の習熟度のみならず個々の場合における埋没法、加熱、フラックス量、ろうの流れ方などによって左右されるためにその接合強さも宿命的にばらつくと考えられる。しかしレーザー溶接法ではいつん条件さえ決定されれば同一の接合強さが得られると言える。

(2) 硬さ試験について

図3に18-8ステンレス鋼について硬さ測定の結果を示す。図中矢印で示した範囲が接合部である。その矢印内のSはろう付部、Wは熱処理前のレーザー溶接部、WH

は熱処理後のレーザー溶接部を示す。ろう付部においては接合部はろう材自身の硬さを示しているのが当然ながら母材と接合部との硬さの差がはつきり現われている。一方レーザー溶接法では硬さの変化は連続的であり母材と溶

図3 18-8 ステンレス鋼の硬さ

(a) ろう付法

(b) レーザ溶接法

図4 18-8ステンレス鋼の金属組織

図5 Type III 金合金の硬さ

図6 Type IV 金合金の硬さ

接部との硬さの差は認められない。これは Earvolino⁵⁾, Alwang⁶⁾ らの報告とも一致している。

ろう付部の極く近傍で硬さが急激に上昇しているのが認められる。これはろう付時の加熱によつて Cr の炭化物が析出したいわゆる鋼の低温析出によるものと考えられるが詳細については不明である。

図4に18-8ステンレス鋼のろう付部(a)とレーザ溶接部(b)の組織と硬度計圧子のくぼみを示している。レーザ溶接の母材は圧延加工後に熱影響を受けないので所々に繊維組織が認めらるが明瞭な組織を示さない。しかしろう付法の場合には室温から550°Cまで2時間炉中加熱したために母材は完全に再結晶している。この組織の差が図3に示した母材におけるろう付法とレーザ溶接法の硬さの差となつて現われたものと考えられる。

図4に見られるようにろう付法においては母材の結晶粒界を明瞭に出現させるためにはろう付部は相当に過剰腐食する必要があつた。このことは強酸に対してろう付部の方が母材より化学的に非常に活性であることを意味し、このように化学的安定度の不均一性は口腔内における腐食に対しても不利な因子である。このような観点からも異種金属の混入しないレーザ溶接法はろう付法に比較して有利な手段と考えられる。

図5, 6にType III, Type IV 合金の硬さの測定結果をそれぞれ示す。Type IIIについてみるとレーザ溶接したままの状態(●印)では溶接部は加工ひずみが開放され、むしろ軟化熱処理されたためその硬さは小さいが、溶接後硬化熱処理を施す(+印)とビッカース硬さで約120の上昇が起こり、母材とほぼ等しい値を示すようになる。Type IVについてはType IIIと同様にレーザ溶接後の熱処理によつて溶接部の硬さは約100増加するが、母材の熱処理効果が大きいために母材との硬さの差が多少みとめられる。

以上の結果から本実験に用いた金ろうはType IIIとほぼ等しい組成を持ち、Type IIIと同等の熱処理硬化を示すことからろう付部に硬さの差が見られなかつたと考えられる。またType IIIとType IVとを比較するとType IVの方が熱処理効果が大きいこともうかがえる。

図7, 8はそれぞれType III, Type IVの金属組織を示す。いずれの試料ともレーザ溶接部は典型的な凝固組織を示し、一方母材は加工材の不鮮明な組織を示している。レーザ溶接後硬化熱処理を施したものでは母材がわずかに再結晶していることがわかる。またろう付試料の母材は完全に再結晶を完了した等軸結晶を示している。レーザ溶接部の組織には熱処理前と熱処理後とでなんら

変化はみとめられない。ただレーザ光のスポットの境界がやや不鮮明となつた。

ろう付試料では18-8ステンレス鋼の場合と同様にろう付部が母材に比較して極端に強く腐食されており、このような1試料中での局所性は材料の強度的立場からもまた耐食性の立場からも好ましくない状態であり、この意味において前にも述べたごとく異種金属の混入しないレーザ溶接法はろう付法に比較してはるかにすぐれた方法と考えられる。

4. レーザ溶接の3歯 Bridge への応用

加工用レーザを応用して作業模型上で Pontic を直接溶接し12%金パラ合金の3歯 Bridge を作製した。

図9がレーザ溶接を行なつた3歯Bridgeである。第2小臼歯部はレーザ溶接し、研磨前の状態で第2大臼歯部は研磨後の状態である。この3歯Bridgeのレーザ溶接部を中心に近遠心的に縦断し、硬さ測定並びに金属組織を観察し、金パラろうを用いたろう付試料と比較検討した。

図10は硬さ測定の結果を示す。この場合も前述のステンレス鋼および金合金と同様にレーザ溶接部の硬さは母材の硬さとほぼ同じ値を示した。これに反しろう付部は母材よりもヴィカース硬さで160程低い値を示した。

図11は接合部の金属組織を示す。(a)のレーザ溶接部は母材にくらべ結晶が微細化され、強拡大で観察するとこの溶接部は微小なデンドライトを形成していた。(b)のろう付部は母材とろう材の境界に中間合金層が形成されている。

さらにレーザ溶接により作製した3歯 Bridge の作業時間を検討してみた。ろう付法ではコア採得、埋没、乾燥、加熱、ろう付などの工程が必要であり約150分を要した。一方レーザ溶接は作業模型上で直接溶接できるので、溶接部の焦点を合わせる時間とスポット送りだけで済みこれに要する時間は5分もあれば十分であつた。このように作業時間は著しく短縮できまろう付法と違い溶接過程が単純であるため寸法変化などの誤差の入る余地が少ないと考えられる。

5. 結 論

レーザ溶接法の歯科補綴への導入を試みろう付法と比較検討し次の結果を得た。

(1) ろう付法においては接合部の強さはろう材自身の強さによつて決定されるが、レーザ溶接法によれば母材金属自身が融解接合されるため母材自身の強さによつて

図 7 Type III 金合金の金属組織
 (右上) ろう付法 (熱処理後)
 (左下) レーザ溶接法 (熱処理前)
 (右下) レーザ溶接法 (熱処理後)

図 8 Type IV 金合金の金属組織
 (右上) ろう付法 (熱処理後)
 (左下) レーザ溶接法 (熱処理前)
 (右下) レーザ溶接法 (熱処理後)

図 9 レーザ溶接を行なった3歯 Bridge

(a) レーザ溶接法

図 10 12%金パラ合金と接合部の硬さ

(b) ろう付法

図 11 12%金パラ合金と接合部の金属組織

決定される。したがって母材との組成差が大きいう材を必要とする金属の接合にはろう付法に替ってレーザ溶接法はきわめて有効だといえる。

(2) 耐食性においてレーザ溶接法では溶接部は母材そのものが融解接合されるためろう付法のような異種金属の介入がない。それゆえ強酸による腐食に関しては母材と溶接部ではほとんど差が認められなかった。

(3) 作業時間において3歯 Bridge を例にとるとろう付法では約150分必要であるが、レーザ溶接法は5分もあれば良い。したがって作業時間は著しく短縮できる。また溶接過程が単純なため寸法変化が小さいと思われる。

以上によりレーザ溶接法はろう付法にくらべ有利な点が多いと考えられる。しかし、レーザ発振装置などが現在では高価なため一般への実用化にはなお年月を要するという問題点を残している。

本論文は第60回日本補綴歯科学会(1973.9.25)において発表し、その会誌に抄録を掲載した。

稿の終りに臨み、本研究のご指導とご校閲の労を賜った末次恒夫教授および理工学教室山根正次教授ならびに東京医科歯科大学第3補綴学教室林都志夫教授に厚く謝意を表します。

また終始一貫してご指導ご鞭撻をいただいた理工学教室太田道雄助教授および種々ご協力下さった理工学教室久恒邦博助手、

補綴学教室永田良臣技士、組織写真の指導をいただいた工学部冶金学教室佐野毅助手に深く感謝の意を表します。さらにレーザ加工技術の指導をいただいた東芝電気K.K.総合研究所長野幸隆氏、試料の切り出しに協力いただいた村上研究所に御礼申し上げます。

文 献

- 1) Gordon, E.T. and Smith, L.D.: Laser welding of prostheses-an initial report, J. Pros. Dent. 24: 472~476, 1970.
- 2) Gordon, E.T. and Smith, L.D.: A laser in the dental lab, Laser Focus Magazine, 37~39, June, 1970.
- 3) Smith, L.D., Burnett, P.A. and Gordon, E.T.: Laser welding of gold alloys, J. Dent. Res. 51: 161~167, 1972.
- 4) Miller, J.K. and Nunnikhoven, D.J.: Laser-a space age welding process, SAE Paper, No. 650753, 1966.
- 5) Earvolino, P.L. and Kennedy, R.J.: Laser welding of aerospace structural alloys, Welding Journal, 127 S~134 S, 1966.
- 6) Alwang, G.W., Cavanaugh, A.L. and Sammartino, E.: Continuous butt welding using a carbon dioxide laser, Welding Journal, 110 S~115 S, 1969.